

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-143108

(43)Date of publication of application : 11.06.1993

(51)Int.Cl.

G05B 13/02

G05B 13/04

(21)Application number : 03-304490

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 20.11.1991

(72)Inventor : NOMURA MASAHIDE

OUCHI KAZUNORI

TOYAMA EIJI

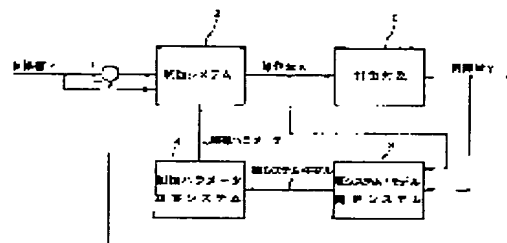
KIMURA TORU

(54) ADAPTIVE CONTROL METHOD FOR PROCESS

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a process adaptive control method capable of a control parameter for a control system even in the case of a controlled system which can not easily obtain a step response from the control system.

CONSTITUTION: This process adaptive control method is constituted of a sequential system model identifying system 3 for identifying the sequential system model of a controlled system 1, a control parameter adjusting system 4 for adjusting a control parameter by using the identified sequential system model and a control system 2 for controlling the controlled system 1 by using the adjusted control parameter. The system 3 input the I/O variable time sequence signal of the controlled system 1 and identifies the sequential system model for inferring the value of the output variable of the system 1 by a neural network while using the running data of the system 1.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.10.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 26.03.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

* NOTICES *

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The adaptive control approach of the process characterized by for a neural network realizing the model of said controlled system in the approach of controlling a controlled system using the signal of the I/O variable of said controlled system so that a controlled variable may be made in agreement with desired value, and being adapted for property change of said controlled system using said model, and adjusting the control parameter of a control unit.

[Claim 2] The adaptive control approach of a process of recording the performance data of said controlled system, using said performance data as data for study in claim 1, making said neural network learning by this, and identifying a model.

[Claim 3] The adaptive control approach of a process of using the performance data from which said controlled system changes every moment as data for study in claim 1, making said neural network by this learning on online real time, and identifying a model.

[Claim 4] The adaptive control approach of a process using the signal of the variable with which the load level of said controlled system is expressed as a signal of the I/O variable of said controlled system in claim 1.

[Claim 5] The process adaptive control approach using [on claim 1 and] a time series signal as a signal of the I/O variable of said controlled system.

[Claim 6] The adaptive control approach of a process of adjusting the control parameter of the feedback control system of a control device in claim 1 using the model realized by said neural network.

[Claim 7] The adaptive control approach of a process of adjusting the control parameter of the feedforward control system of a control unit in claim 1 using the model realized by said neural network.

[Claim 8] The adaptive control approach of a process of a neural network realizing the order system model which inputs the signal of the I/O variable of said controlled system, and outputs the estimate of the output variable of said controlled system in claim 1, and adjusting the control parameter of a control unit using this model.

[Claim 9] The adaptive control approach of a process of a neural network realizing the inverse-system model which inputs the signal of the output variable of said controlled system, and outputs the estimate of the input variable of said controlled system in claim 1, and adjusting the control parameter of a control unit using this model.

[Claim 10] The adaptive control approach of a process of adjusting the control parameter of the feedback control system of a control device in claim 8 using the order system model realized by said neural network.

[Claim 11] The adaptive control approach of a process of adjusting the control parameter of the feedforward control system of a control unit in claim 8 using the order system model realized by said neural network.

[Claim 12] The adaptive control approach of a process of adjusting the control parameter of the feedforward control system of a control unit in claim 9 using the inverse-system model realized by said neural network.

[Claim 13] The adaptive control approach of the process characterized by for a neural network realizing the model of said controlled system in the approach of controlling a controlled system using the signal of the I/O variable of said controlled system so that a controlled variable may be made in agreement with desired value, and being adapted for property change of said controlled system using this model, and controlling said controlled system.

[Claim 14] The adaptive control approach of the process which controls said controlled system combining the model and control unit which were realized by said neural network in claim 13.

[Claim 15] The adaptive control approach of the process which controls said controlled system combining this feedforward control system and control unit while a neural network realizes the inverse-system model which inputs the signal of the output variable of said controlled system, and outputs the estimate of the input variable of said controlled system in claim 14 and constituting a feedforward control system using this model.

[Claim 16] The adaptive control approach of the process which controls said controlled system in claim 15 combining the feedforward control system realized with the inverse-system model, and the feedback control system of a control device.

[Claim 17] The adaptive control approach of the process which controls said controlled system by the feedforward control system and feedback control system of a control device when it becomes below the criteria as which controllability ability was determined, while controlling said controlled system in claim 15 combining the feedforward control system realized with the inverse-system model, and the feedback control system of a control device.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the adaptive control approach of a process, especially, even when a process is a multi-input multi-output system, is adapted for the property of a process and relates to the adaptive control approach of a suitable process to hold the property of a control system good.

[0002]

[Description of the Prior Art] When controlling a process by the control system, it is adapted for the property of a process and it necessary to adjust the control parameter of a control system. As the one approach, there is the adjustment approach indicated by "the auto tuning method for PID controllers adapting fuzzy reasoning" (the 13th time system symposium of the Society of Instrument and Control Engineers, '87-11). Below, the outline of this conventional adjustment approach is explained.

[0003] Drawing 2 shows the configuration of the conventional adjustment approach.

[0004] From the response waveform of the controlled variable when carrying out step change of the desired value, this approach extracts characteristic quantity, such as the amount E of overshoot shown in drawing 3, a damping ratio D, and the period-of-vibration ratio R, and determines a control parameter by fuzzy reasoning based on such characteristic quantity.

[0005] Fuzzy reasoning expresses the adjustment Ruhr of a qualitative expression as shown below in the fuzzy Ruhr, and determines a control parameter by the fuzzy operation from characteristic quantity using this fuzzy Ruhr.

[0006] "If the amount E of overshoot and a damping ratio D are large, proportional gain Kp and the derivative time Td will be made small."

(Example of the adjustment Ruhr)

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Adjustment is difficult when a difficult controlled system obtains the step response of a control system, since characteristic quantity, such as the amount E of overshoot, a damping ratio D, and the period-of-vibration ratio R, is extracted from the step response of a control system and fuzzy reasoning adjusts a control parameter with the above-mentioned conventional technique based on such characteristic quantity.

[0008] Moreover, with the above-mentioned conventional technique, since it was aimed at the case where a controlled system is a 1 input 1 output system, when a controlled system was a multi-input multi-output system, there was a problem that adjustment of the control parameter of a control system was difficult. Adjustment was more difficult especially when interference between two or more controlled variables was a large controlled system.

[0009] Furthermore, since it was aimed at the case where a controlled system is linear system, with the above-mentioned conventional technique, in the case of the system in which a controlled system has nonlinear system, i.e., a nonlinear characteristic, adjustment of the control parameter of a control system was difficult.

[0010] Moreover, since the control parameter of a feedback control system is targetted with the above-mentioned conventional technique, in the case of the control parameter of a feedforward control system, adjustment is difficult.

[0011] The purpose of this invention has obtained the step response of a control system to offer the process adaptive control approach that the control parameter of a control system can be adjusted also by the difficult controlled system.

[0012] Moreover, other purposes of this invention are to offer the process adaptive control approach that the control parameter of a control system can be adjusted also by the controlled system of a multi-input multi-output system, especially the controlled system with the large interference between two or more controlled variables.

[0013] Furthermore, other purposes of this invention are to offer the process adaptive control approach that the control parameter of a control system can be adjusted also by the controlled system with a nonlinear characteristic.

[0014] Moreover, other purposes of this invention are to offer the process adaptive control approach that the control parameter of a feedforward control system can be adjusted.

[0015]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, this invention identifies the order

system model of a controlled system by the neural network, and adjusted the control parameter of a feedback control system, or the control parameter of a feedforward control system using this order system model.

[0016] Moreover, the inverse-system model of a controlled system is identified by the neural network, and the control parameter of a feedforward control system was adjusted using this inverse-system model.

[0017] Furthermore, the inverse-system model of a controlled system is identified by the neural network, a feedforward control system is constituted using this inverse-system model, and the controlled system was controlled combining this feedforward control system and the feedback control system of a control system.

[0018]

[Function] Since use the time series signal of the output variable at the time of operation of a controlled system as teacher data for study, the neural network for order system-model identification of a controlled system is made to learn and the control parameter of a control system is adjusted using this order system model while using the time series signal of the input variable at the time of operation of a controlled system as the input data for study, obtaining the step response of a control system can adjust the control parameter of a control system also by the difficult controlled system.

[0019] Moreover, since the neural network for order system-model identification can identify the controlled system of a multi-input multi-output system, or an order system model, it can adjust the control parameter of a control system also by the controlled system with the large interference between two or more controlled variables by adjusting the control parameter of a control system using this order system model.

[0020] Furthermore, a neural network carries out nonlinear conversion of the input, and has the function which outputs the result. Therefore, since this function is used, the neural network for order system-model identification can realize the non-linear regression model of a controlled system. Thereby, the control parameter of a control system can be adjusted also by the controlled system with a nonlinear characteristic.

[0021] Moreover, since the time series signal of the input variable at the time of operation of a controlled system is used as teacher data for study and the neural network for inverse-system model identification of a controlled system is made to learn while using the time series signal of the output variable at the time of operation of a controlled system as the input data for study, the control parameter of a feedforward control system can be adjusted so that a controlled system may carry out a desirable response to desired value using this inverse-system model.

[0022] Moreover, while using the time series signal of the output variable at the time of operation of a controlled system as the input data for study Since the time series signal of the input variable at the time of operation of a controlled system is used as teacher data for study and the neural network for inverse-system model identification of a controlled system is made to learn The feedforward control system to which a controlled system carries out a desirable response to desired value using this inverse-system model can be constituted. Since a controlled system is controlled combining this feedforward control system and the feedback control system of a control system, it is adapted for the property of a controlled system, and the property of a control system can be held good.

[0023]

[Example] One example of this invention is shown in drawing 1.

[0024] This example consists of an order system-model identification system 3 which identifies the order system model of a controlled system 1, a control-parameter regulating system 4 which adjusts a control parameter using the identified order system model, and a control system 2 which controls a controlled system 1 using the adjusted control parameter.

[0025] Hereafter, one example of this invention is explained for a steam-generated plant as a controlled system 1.

[0026] Before starting detail explanation of the example of this invention, the outline of a steam-generated plant and a steam-generated plant control system is explained. Drawing 4 shows the configuration of the steam-generated plant possessing a high pressure turbine 417, and inside and a low pressure turbine 418.

[0027] It is cooled by the condenser 420 and the exhaust air from inside and a low pressure turbine 418 is returned to water. This water becomes superheated steam through a feed pump 415, the furnace waterwall 410, a primary superheater 411, and the secondary superheater 408 one by one, and is given to a high pressure turbine 417 through a main steam control valve 416. Again, the exhaust air from a high pressure turbine 417 is reheated with the primary reheater 423 in a boiler 422, and the secondary reheater 409, and is given to inside and a low pressure turbine 418. Consequently, the rotation drive of the generator 419 is carried out by high pressure, inside, and the low pressure turbine 417,418, and a generation of electrical energy is performed. In addition, the spray control valve 413 is for supplying water to piping between primary and the secondary superheater 411,408 with a spray 421. Moreover, supply of the dust coal to a boiler 422 is performed by a coal bunker 404, the stoker drive motor 405, a stoker 406, and the coal mill 407. Furthermore, the forced-draft machine 401, the air preheater 402, the air fan 403, the induced draft fan 414, and the gas recirculating fan 412 are formed for reuse of supply of air, exhaust air of combustion gas, and waste heat.

[0028] The steam-generated plant has the composition of having explained above, and is the load command LC from the central load dispatching office (it is called inside ** for short below). Based on the controlled variable of a steam-generated plant, a main steam control valve 416, a feed pump 415, the stoker drive motor 405, the forced-draft machine 401, the spray control valve 413, a gas recirculating fan 412, an induced draft fan 414, etc. must be operated suitably. For this reason, a steam-generated plant control system is required, and this example of the steam-generated plant control structure of a system is shown in drawing 5.

[0029] A steam-generated plant control system consists of a master controller 100 and a subloop controller 300,

and controls the steam-generated plant 400. It is the load demand LD by obtaining the load command LC from inside ** (= ELD+AFC) by the adder 101, and processing this by the rate-of-change limiter 102 by the master controller 100. It asks. this load demand LD the feedback control machines 110-116 of a controlled variable y — that is The generator output MW, the main steam pressure PMS, the primary-superheater outlet steam temperature TISH, exhaust gas O2O2, the main steam temperature TMS, ***** TRH, amount of demand corrections deltaFMSD from the feedback control machines 110-116 of the furnace draft PWW, deltaFFWD, delta FFD, delta FAD, It is based on deltaFSPD, deltaFGRD, and deltaFGD. By the amendment circuits 109,103-108 with a feedforward control machine The turbine steamy flow rate demand FMSD, the water supply flow rate demand FFWD, the fuel-flow demand FFD, the air-flow-rate demand FAD, the spray flow rate demand FSPD, the recycling quantity-of-gas-flow demand FGRD, and the amount demand FGD of emission are determined. These relation is shown in a degree type.

[0030]

[Equation 1]

$$\left. \begin{aligned} F_{MSD} &= g_{MSD}(L_D) + h_{MSD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{MSD} \\ F_{FFWD} &= g_{FFWD}(L_D) + h_{FFWD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{FFWD} \\ F_{FFD} &= g_{FFD}(L_D) + h_{FFD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{FFD} \\ F_{FAD} &= g_{FAD}(L_D) + h_{FAD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{FAD} \\ F_{SPD} &= g_{SPD}(L_D) + h_{SPD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{SPD} \\ F_{GRD} &= g_{GRD}(L_D) + h_{GRD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{GRD} \\ F_{GD} &= g_{GD}(L_D) + h_{GD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{GD} \end{aligned} \right\}$$

...(数1)

[0031] Here, a gi():function hi():function and the subloop controller 300 operate the main steam control valve 416 of the steam-generated plant 400, a feed pump 415, the stoker drive motor 405, the forced-draft machine 401, the spray control valve 413, a gas recirculating fan 412, and an induced draft fan 414 through the turbine controller 301, the water supply rate controller 302, the fuel-flow controller 303, the air rate controller 304, the spray rate controller 305, the recycling quantity-of-gas-flow controller 306, and the amount controller 307 of emission according to these demands. Consequently, it is controlled so that the controlled variable y MW of the steam-generated plant 400, i.e., a generator output, the main steam pressure PMS, the primary-superheater output steam temperature TISH, exhaust gas O2O2, the main steam temperature TMS, the reheat steam temperature TRH, and the furnace draft PWW become the desired value of a wish.

[0032] The order system-model identification system 3 inputs the time series signal of the I/O variable of the steam-generated plant 1, and the order system model which presumes the value of the output variable of the steam-generated plant 1 is identified. This order system model is expressed with drawing 6 and a degree type.

[0033]

[Equation 2]

$$C = F(Z)$$

...(数2)

[0034]

here — the estimate y(t) of value [in this time t of the output variable y of C:thermal power plant 1] y(t)

Z: The time series signal of the I/O variable of the steam-generated plant 1

F: Order system-model function (nonlinear transform function)

Value [in this time t of the output variable y of the steam-generated plant 1] y (t) is given for example, by the degree type.

[0035]

[Equation 3]

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ y_5(t) \\ y_6(t) \\ y_7(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MW(t) \\ P_{MS}(t) \\ T_{ISH}(t) \\ O_2(t) \\ T_{MS}(t) \\ T_{RH}(t) \\ P_{WW}(t) \end{bmatrix}$$

...(数3)

[0036]

Here MW (t) : Value PMS of the generator output in this time t (t) : value O2 of the primary-superheater outlet steam temperature in value TISH(t):this time t of the main steam pressure in this time t (t) : Exhaust gas O2 in this time t Value TMS of concentration (t) : Value TRH of the main steam temperature in this time t (t) : Value PWW of the reheat steam temperature in this time t (t) : The time series signal Z of the value of the furnace draft in this time t and the I/O variable of the steam-generated plant 1 is given for example, by the degree type.

[0037]

[Equation 4]

$$Z = \begin{bmatrix} y(t-1) \\ y(t-2) \\ \vdots \\ y(t-L) \\ x(t-1) \\ x(t-2) \\ \vdots \\ x(t-L) \end{bmatrix}$$

...(数4)

[0038]

[Equation 5]

$$y(t-i) = \begin{bmatrix} y_1(t-i) \\ y_2(t-i) \\ y_3(t-i) \\ y_4(t-i) \\ y_5(t-i) \\ y_6(t-i) \\ y_7(t-i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MW(t-i) \\ P_{MS}(t-i) \\ T_{ISH}(t-i) \\ O_2(t-i) \\ T_{MS}(t-i) \\ T_{RH}(t-i) \\ P_{WW}(t-i) \end{bmatrix}$$

...(数5)

[0039]

[Equation 6]

$$x(t-i) = \begin{bmatrix} x_1(t-i) \\ x_2(t-i) \\ x_3(t-i) \\ x_4(t-i) \\ x_5(t-i) \\ x_6(t-i) \\ x_7(t-i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{MS}(t-i) \\ F_{FW}(t-i) \\ F_F(t-i) \\ F_A(t-i) \\ F_{SP}(t-i) \\ F_{GR}(t-i) \\ F_G(t-i) \end{bmatrix}$$

...(数6)

[0040]

Here FMS :time (t-i) The value FFW of the main steam flow rate in (t-i) : The value FF (t-i) of the water supply flow rate in a time (t-i) (t-i) : Value FA of a fuel flow in a time (t-i) (t-i) Value FG (t-i) of the gas recycling flow rate in the value FGR(t-i): time (t-i) of the spray flow rate in the value FSP(t-i): time (t-i) of the air flow rate in :time (t-i) The value L of the amount of emission in :time (t-i) : Build order system-model function [of a model / of a degree] F (Z) by the multilayer (m layers) neural network shown in drawing 7 .

[0041] The configuration of the unit which is the component of this neural network is shown in drawing 8 .

[0042] The input/output relation of this unit is expressed with a degree type.

[0043]

[Equation 7]

$$v_j(k) = f(u_j(k))$$

...(数7)

[0044]

[Equation 8]

$$u_j(k) = \sum_i w_{ij}(k-1, k) \cdot v_i(k-1) \quad \dots(\text{数} 8)$$

[0045]

Here, it is $u_j(k)$: Total v_j of an input to the j -th unit of the k -th layer (k): The output $w_{ij}(k-1, k)$ of the j -th unit of the k -th layer: Weighting-factor [of association to the j -th unit of the k -th layer of a $(k-1)$ layer from the i -th unit] f : Function which gives the input/output relation of each unit (I/O function)

The first pass of a neural network is an input layer, and the output of the unit of the first pass serves as an input signal to a neural network. In the example of this invention, the input signal to a neural network is the time series signal Z of the I/O variable of the steam-generated plant 1, and the correspondence is expressed with a degree type from several 4.

[0046]

[Equation 9]

$$\begin{bmatrix}
 v_1(1) \\
 v_2(1) \\
 v_3(1) \\
 v_4(1) \\
 v_5(1) \\
 v_6(1) \\
 v_7(1) \\
 \vdots \\
 v_{7L-6}(1) \\
 v_{7L-5}(1) \\
 v_{7L-4}(1) \\
 v_{7L-3}(1) \\
 v_{7L-2}(1) \\
 v_{7L-1}(1) \\
 v_{7L}(1) \\
 v_{7L+1}(1) \\
 v_{7L+2}(1) \\
 v_{7L+3}(1) \\
 v_{7L+4}(1) \\
 v_{7L+5}(1) \\
 v_{7L+6}(1) \\
 v_{7L+7}(1) \\
 \vdots \\
 v_{7L+7L-6}(1) \\
 v_{7L+7L-5}(1) \\
 v_{7L+7L-4}(1) \\
 v_{7L+7L-3}(1) \\
 v_{7L+7L-2}(1) \\
 v_{7L+7L-1}(1) \\
 v_{7L+7L}(1)
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 y_1(t-1) \\
 y_2(t-1) \\
 y_3(t-1) \\
 y_4(t-1) \\
 y_5(t-1) \\
 y_6(t-1) \\
 y_7(t-1) \\
 \vdots \\
 y_1(t-L) \\
 y_2(t-L) \\
 y_3(t-L) \\
 y_4(t-L) \\
 y_5(t-L) \\
 y_6(t-L) \\
 y_7(t-L) \\
 x_1(t-1) \\
 x_2(t-1) \\
 x_3(t-1) \\
 x_4(t-1) \\
 x_5(t-1) \\
 x_6(t-1) \\
 x_7(t-1) \\
 \vdots \\
 x_1(t-L) \\
 x_2(t-L) \\
 x_3(t-L) \\
 x_4(t-L) \\
 x_5(t-L) \\
 x_6(t-L) \\
 x_7(t-L)
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 MW(t-1) \\
 P_{MS}(t-1) \\
 T_{ISH}(t-1) \\
 O_2(t-1) \\
 T_{MS}(t-1) \\
 T_{RH}(t-1) \\
 P_{WW}(t-1) \\
 \vdots \\
 MW(t-L) \\
 P_{MS}(t-L) \\
 T_{ISH}(t-L) \\
 O_2(t-L) \\
 T_{MS}(t-L) \\
 T_{RH}(t-L) \\
 P_{WW}(t-L) \\
 F_{MS}(t-1) \\
 F_{FW}(t-1) \\
 F_F(t-1) \\
 F_A(t-1) \\
 F_{SP}(t-1) \\
 F_{GR}(t-1) \\
 F_G(t-1) \\
 \vdots \\
 F_{MS}(t-L) \\
 F_{FW}(t-L) \\
 F_F(t-L) \\
 F_A(t-L) \\
 F_{SP}(t-L) \\
 F_{GR}(t-L) \\
 F_G(t-L)
 \end{bmatrix}$$

...(数 9)

[0047] Moreover, the last layer (the example of this invention the m -th layer) of a neural network is an output layer, and the output of the unit of this layer serves as an output signal of a neural network. In the example of this invention, the output signal of a neural network is estimate $\hat{y}(t)$ and (\approx) of value [in this time t of the output variable y of the steam-generated plant 1] $y(t)$, and the correspondence is expressed with a degree type from several 3.

[0048]

[Equation 10]

$$\begin{bmatrix} v_1(m) \\ v_2(m) \\ v_3(m) \\ v_4(m) \\ v_5(m) \\ v_6(m) \\ v_7(m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ y_5(t) \\ y_6(t) \\ y_7(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MW(t) \\ P_{MS}(t) \\ T_{ISH}(t) \\ O_2(t) \\ T_{MS}(t) \\ T_{RH}(t) \\ P_{WW}(t) \end{bmatrix}$$

...(数10)

[0049] Change of the input/output relation of a unit shown in several 7 and several 8 changes the property of nonlinear transform-function $F(Z)$ shown in several 2 in connection with it. That is, change of the number of the layer of a neural network, the number of the unit of each class, the weighting factor $w_{ij}(k-1, k)$ of each unit, and the function f that gives the input/output relation of each unit changes the property of nonlinear transform-function $F(Z)$. Therefore, nonlinear transform-function $F(Z)$ which suits the purpose can be built by adjusting the number of a layer, the number of the unit of each class, the weighting factor $w_{ij}(k-1, k)$ of each unit, and the function f that gives the input/output relation of each unit.

[0050] The order system-model identification system 3 identifies the order system model of a controlled system 1 by study. Next, the algorithm of this study is explained.

[0051] First, when the group (Z, C) of I/O is given as data for study, the square of the error shown in a degree type is defined as a loss function R .

[0052]

[Equation 11]

$$R = \frac{1}{2} \sum_j \{ v_j(m)(w, Z) - C_j \}^2 \quad \dots(\text{数 } 11)$$

[0053]

here — w : amount of corrections Δw of the thing $v_j(m)(w, Z)$: input Z which summarized all the weighting factors of association of a neural network, and the output w of the j -th unit of the m -th layer (output layer) synthetically obtained from weighting-factor w — inclination (gradient) about w of a loss function R from — it asks and is expressed with a degree type.

[0054]

[Equation 12]

$$\Delta w_{ij}(k-1, k) = -\varepsilon \frac{\partial R}{\partial w_{ij}(k-1, k)} \quad \dots(\text{数 } 12)$$

[0055]

The amount epsilon of corrections of the weighting factor $w_{ij}(k-1, k)$ of association here to the j -th unit of the k -th layer of a $\Delta w_{ij}(k-1, k)$: $** (k-1)$ layer from the i -th unit : $**R/**w_{ij}(k-1, k)$ of the right-hand side with 12 forward constants can deform like a degree type.

[0056]

[Equation 13]

$$\frac{\partial R}{\partial w_{ij}(k-1, k)} = \frac{\partial R}{\partial u_j(k)} \frac{\partial u_j(k)}{\partial w_{ij}(k-1, k)} \quad \dots(\text{数 } 13)$$

[0057] A degree type will be drawn, if several 8 is substituted for several 13 and arranged.

[0058]

[Equation 14]

$$\frac{\partial R}{\partial w_{ij}(k-1, k)} = \frac{\partial R}{\partial u_j(k)} v_i(k-1) \quad \dots(\text{数 } 14)$$

[0059] **R/**uj(k) of the several 14 right-hand side is called for by the degree type at the time of k!=m.

[0060]

[Equation 15]

$$\frac{\partial R}{\partial u_j(k)} = \sum_i \frac{\partial R}{\partial u_i(k+1)} \frac{\partial u_i(k+1)}{\partial v_j(k)} \frac{\partial v_j(k)}{\partial u_j(k)} \quad \dots(\text{数 } 15)$$

[0061] A degree type will be obtained, if several 7 and several 8 are substituted for several 15 and arranged.

[0062]

[Equation 16]

$$\frac{\partial R}{\partial u_j(k)} = \sum_i \frac{\partial R}{\partial u_i(k+1)} w_{ji}(k, k+1) f_1(u_j(k)) \quad \dots(\text{数 } 16)$$

[0063] Here, it is f1. When it sets with derivative **R/**uj(k) =dj(k) of Function f which gives the input/output relation of each unit, several 12 and several 16 are expressed with a degree type.

[0064]

[Equation 17]

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij}(k+1, k) &= -\varepsilon d_j(k) \cdot v_i(k-1) \\ &= -\varepsilon v_i(k-1) \cdot d_j(k) \end{aligned} \quad \dots(\text{数 } 17)$$

[0065]

[Equation 18]

$$\begin{aligned} d_j(k) &= \left\{ \sum_i d_i(k+1) \cdot w_{ji}(k, k+1) \right\} \cdot f_1(v_j(k)) \\ &= \left\{ \sum_i w_{ji}(k, k+1) \cdot d_i(k+1) \right\} \cdot f_1(u_j(k)) \end{aligned} \quad \dots(\text{数 } 18)$$

[0066] Moreover, **R/**uj(m) is called for by the degree type from several 11 at the time of k=m.

[0067]

[Equation 19]

$$\begin{aligned} d_j(m) &= \{ v_j(m) - C_j \} \cdot \frac{\partial v_j(m)}{\partial u_j(m)} \\ &= \{ v_j(m) - C_j \} \cdot f_1(v_j(m)) \end{aligned} \quad \dots(\text{数 } 19)$$

[0068] If several 17, several 18, and several 19 are used, correction of the weighting factor vij(k-1, k) of association will be recursively calculated toward k=2 from k=m. Namely, ideal output Cj in an output layer It spreads by considering an error with the actual output uj(m), and (w, z) as an input, taking the sum which gave weight in the direction contrary to propagation of a signal by wij(k, k-1) in the direction of an output layer to an input layer. This is a back propagation error learning algorithm.

[0069] The function f which gives the input/output relation of each unit shall be common about all units, and shall be expressed with a degree type.

[0070]

[Equation 20]

$$f(u) = \frac{1}{1 + \exp(-u + \theta)} \quad \dots(\text{数 } 20)$$

[0071] From several 20, it is obtained by the degree type.

[0072]

[Equation 21]

$$f_1(u) = f(u) \{ 1 - f(u) \} \quad \dots(\text{数 } 21)$$

[0073] A degree type is drawn from several 7 and several 21.

[0074]

[Equation 22]

$$f_1(u_j(k)) = v_j(k) \{1 - v_j(k)\} \quad \dots(\text{数 } 2 \ 2)$$

[0075] In addition, in order to complete study quickly smoothly, several 17 is correctable like a degree type.

[0076]

[Equation 23]

$$\Delta w_{ij}(k-1, k)(\tau) = -\varepsilon v_i(k-1)(\tau) \cdot d_j(k)(\tau) \\ + \alpha \Delta w_{ij}(k-1, k)(\tau-1)$$

$\dots(\text{数 } 2 \ 3)$

[0077]

Here, it is an alpha:forward constant (good also as alpha=1-epsilon).

tau: Call the input data for study, a call, and an output C the teacher data for study for Input Z in the group (Z, C) of I/O of the data for count study of correction. Next, the acquisition approach of the data for study is explained in the example of this invention.

[0078] The performance data of a controlled system 1, i.e., the time series data of the I/O variable of a controlled system 1, is used for the group (Z, C) of I/O of the data for study. for example, the time series data from this time t collected by sampling-period deltat to before M sampling — [(y(t), x(t)) — (y(t-1), x(t-1)), ..., (y(t-M), x(t-M)) (M>L) are memorized, and this data is used. Correspondence with these time series data and the group (Z, C) of the I/O for study is shown in a degree type.

[0079]

[Equation 24]

$$\begin{aligned}
 Z(t) &= \begin{bmatrix} y(t-1) \\ y(t-2) \\ \vdots \\ y(t-L) \\ x(t-1) \\ x(t-2) \\ \vdots \\ x(t-L) \end{bmatrix} \\
 C(t) &= y(t) \\
 Z(t-1) &= \begin{bmatrix} y(t-2) \\ y(t-3) \\ \vdots \\ y(t-L-1) \\ x(t-2) \\ x(t-3) \\ \vdots \\ x(t-L-1) \end{bmatrix} \\
 C(t-1) &= y(t-1) \\
 Z(t-M+L) &= \begin{bmatrix} y(t-M+L-1) \\ y(t-M+L-2) \\ \vdots \\ y(t-M) \\ x(t-M+L-1) \\ x(t-M+L-2) \\ \vdots \\ x(t-M) \end{bmatrix} \\
 C(t-M+L) &= y(t-M+L)
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} Z(t) \\ C(t) \\ Z(t-1) \\ C(t-1) \\ Z(t-M+L) \\ C(t-M+L) \end{aligned}} \right\} \dots(\text{数 } 24)$$

[0080] A neural network is made to learn with the back propagation error learning algorithm previously explained to the data for study of the above-mentioned individual $(M-L+1)$ using the group (Z, C) of I/O, and an order system model is identified.

[0081] In addition, although the performance data which is a top and which carried out period inclusion was used as data for study, the performance data which changes every moment can also be used. It is better to use the performance data which changes every moment, when property change of a controlled system is quick.

[0082] The control-parameter regulating system 4 adjusts the control parameter of the feedback control system of a control system 2 using the order system model of the controlled system 1 identified with the order system-model identification system 3. That is, as shown in drawing 9, the control parameter of a feedback control system is adjusted so that the model of combination and this combined control system may obtain a good control response for the order system model 41 of the controlled system 1 identified the model 42 of a control system 2.

[0083] In the example of this invention, a controlled system 1 is a steam-generated plant, and a control system 2 is a steam-generated plant control system. The control parameter of the feedback control system of a steam-generated plant control system is a control parameter of the feedback control machines 110-116 of drawing 5. The feedback control machines 110-116 are expressed with a degree type. It is constituted by proportionality and an integrator, or proportionality, an integral, a differentiator, etc.

[0084]

[Equation 25]

$$G_{C1}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad \dots(\text{数 } 25)$$

[0085]

here — transfer function K_p of GC1(s):proportionality and an integrator : Proportional gain T_i : The reset time s :
The Laplacian operator [0086]

[Equation 26]

$$G_{C2}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \dots(\text{数 } 26)$$

[0087]

here — transfer function T_d of GC2(s):proportionality, an integral, and a differentiator : The control parameter K_p of the derivative-time feedback control machines 110-116, i.e., proportional gain, the reset time T_i , and the derivative time T_d It is adjusted so that the model of the control system shown in drawing 9 may have the good control characteristic. For example, as shown in drawing 3, it is adjusted so that the step response of the model of a control system may have the desirable amount of overshoot, a damping ratio, and the rise time.

[0088] Other examples of this invention are shown in drawing 10.

[0089] This example consists of an inverse-system model identification system 5 which identifies the inverse-system model of a controlled system 1, a control-parameter regulating system 4 which adjusts a control parameter using the identified inverse-system model, and a control system 2 which controls a controlled system 1 using the adjusted control parameter.

[0090] Hereafter, other examples of this invention are explained for a steam-generated plant as a controlled system 1. In addition, the outline of a steam-generated plant and a steam-generated plant control system is as the example of drawing 1 having explained.

[0091] The inverse-system model identification system 5 inputs the time series signal of the output variable of a controlled system 1, and the inverse-system model which presumes the time series signal of the input variable of a controlled system 1 is identified. This inverse-system model is expressed with drawing 11 and a degree type.

[0092]

[Equation 27]

$$C_1 = F_1(Z_1) \quad \dots(\text{数 } 27)$$

[0093]

It is here and is C_1 : Estimate Z_1 of the time series signal of the input variable of a controlled system 1 : Time series signal of the output variable of a controlled system 1

F_1 : Inverse-system model function (nonlinear transform function)

Estimate C_1 of the time series signal of the input variable of a controlled system 1 It is expressed with a degree type.

[0094]

[Equation 28]

$$C_1 = [x^{\wedge}(t) x^{\wedge}(t-1) \dots x^{\wedge}(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数 } 28)$$

[0095]

Here, it is the estimate L_1 of the control input of the controlled system 1 at the $x^{\wedge}(t-l):(t-l)$ sampling time. : Degree T : Notation showing transposition

Moreover, time series signal Z_1 of the output variable of a controlled system 1 It is given by the degree type.

[0096]

[Equation 29]

$$Z_1 = [y(t) y(t-1) \dots y(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数 } 29)$$

[0097] Here, the controlled-variable inverse-system model function $F_1(Z_1)$ at the $y(t-l):(t-l)$ sampling time consists of multilayer neural networks (m_1 layer) shown in drawing 7 like the order system-model function $F(Z_1)$. Moreover, the unit of a configuration of that the unit which is the component of this neural network as well as order system-model function $F(Z)$ is shown in drawing 8 is used.

[0098] As stated previously, the first pass of a neural network is an input layer, and the output of the unit of the first pass serves as an input signal to a neural network. the example of this invention — the input signal to the neural network for inverse-system model identification — time series signal Z_1 of the output variable of a controlled system 1 it is — the correspondence is shown in a degree type.

[0099]

[Equation 30]

$$\begin{bmatrix} v_1(1) \\ v_2(1) \\ \vdots \\ v_{1L+1}(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ y(t-1) \\ \vdots \\ y(t-L_1) \end{bmatrix} \quad \dots(\text{数 } 30)$$

[0100] Moreover, the last layer (the example of this invention the m_1 layer) of a neural network is an output layer, and the output of the unit of this layer serves as an output signal of a neural network. the example of this invention — the output signal of a neural network — estimate C_1 of the time series signal of the input variable of a controlled system 1 it is — the correspondence is shown in a degree type.

[0101]

[Equation 31]

$$\begin{bmatrix} v_1(m_1) \\ v_2(m_1) \\ \vdots \\ v_{L+1}(m_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}(t) \\ \hat{x}(t-1) \\ \vdots \\ \hat{x}(t-L_1) \end{bmatrix} \quad \dots(\text{数 } 31)$$

[0102] Change of the input/output relation of a unit shown in several 7 and several 8 changes the inverse-system model function $F_1(Z_1)$ shown in several 27 in connection with it. That is, change of the function f which gives the number of the layer of a neural network, the number of the unit of each class, the weighting factor $w_{ij}(k-1, k)$ of each unit, and the I/O function of each unit changes the inverse-system model function $F_1(Z_1)$. Therefore, the inverse-system model function $F_1(Z_1)$ which suits the purpose can be built by adjusting the function f which gives the number of a layer, the number of the unit of each class, the weighting factor $w_{ij}(k-1, k)$ of each unit, and the I/O function of each unit.

[0103] The inverse-system model identification system 5 builds the inverse-system model function $F_1(Z_1)$ by study, and identifies the inverse-system model of a controlled system 1. That is, when the group (Z_1, C_1) of I/O is given as data for study, like identification of an order system model, the weight $w_{ij}(k, k-1)$ of each unit is corrected with a back propagation error learning algorithm, and the inverse-system model function $F_1(Z_1)$ is built.

[0104] It sets in the group (Z_1, C_1) of I/O of the data for study, and is an input Z_1 . The input data for study, a call, and output C_1 It is called the teacher data for study. In the example of this invention, the performance data of a controlled system 1 is used as data for study, and an inverse-system model is identified. In this case, the time series signal of the output variable (controlled variable) of a controlled system 1 is used as input data for study, and the time series signal of the input variable (control input) of a controlled system 1 is used as teacher data for study. The group (Z_1, C_1) of I/O of these data for study can also use the performance data which changes every moment. Moreover, a certain performance data which carried out period inclusion can also be used. It is better to use the performance data which changes every moment, when property change of a controlled system is quick.

[0105] The control-parameter regulating system 4 adjusts the control parameter of the feedforward control system of a control system 2 using the inverse-system model of the controlled system 1 identified with the inverse-system model identification system 5. That is, the control parameter of a feedforward control system is adjusted so that it may be in agreement with the property of a reference model that the response characteristic of the feed Ford control system of a control system 2 and the control system which combined the controlled system 1 has a desirable response characteristic. In addition, as a reference model, that for which it asked by simulation etc. beforehand can be used. Next, this is explained.

[0106] The controlled variable Z_2 of a controlled system 1, i.e., the time series signal of the desired value r of an output variable, It is given by the degree type.

[0107]

[Equation 32]

$$Z_2 = [r(t) \ r(t-1) \ \dots \ r(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数 } 32)$$

[0108]

[Equation 33]

$$r(r-1) = [r_1(t-r) \ r_2(t-1) \ \dots \ r_n(t-1)]^T \quad \dots(\text{数 } 33)$$

[0109] Here, it is the time series signal Z_2 of this desired value r the number of n :controlled variables. It is the output variable y_M of a reference model by inputting into a reference model. Time series signal Z_2 It is given by the degree type.

[0110]

[Equation 34]

$$Z_3 = [y_M(t) \ y_M(t-1) \ \dots \ y_M(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数 } 34)$$

[0111]

[Equation 35]

$$y_M(t-1) = [y_{M1}(t-1) \ y_{M2}(t-1) \ \dots \ y_{Mn}(t-1)]^T \quad \dots(\text{数 } 35)$$

[0112] Output variable yM of this reference model Time series signal Z3 The control parameter of a feedforward control system is adjusted using the inverse-system model of the identified controlled system 1. Namely, output variable yM of the reference model which is the desirable response to the time series signal Z2 of desired value r Time series signal Z3 Input variable xd which should be inputted into a controlled system 1 if it inputs into the inverse-system model of the identified controlled system 1 Time series signal C3 It is obtained by the degree type.

[0113]

[Equation 36]

$$C_3 = F_1(Z_3) \quad \dots(\text{数 } 36)$$

[0114]

[Equation 37]

$$C_3 = [x_d(t) x_d(t-1) \dots x_d(t-L_2)]^T \quad \dots(\text{数 } 37)$$

[0115]

[Equation 38]

$$x_d(t-1) = [x_{d1}(t-1) x_{d2}(t-1) \dots x_{dn}(t-1)]^T \quad \dots(\text{数 } 38)$$

[0116] C3 : Output variable yM of the reference model which is a desirable response Time series signal Z3 Time series signal of the input variable x which should be inputted into a controlled system 1 in order to obtain Input variable xd which should be inputted into this controlled system 1 Time series signal C3 Time series signal C4 of the output of the feedforward control system of the control system 2 shown in a degree type The control parameter of a feedforward control system is adjusted so that it may be in agreement.

[0117]

[Equation 39]

$$C_4 = [x_f(t) x_f(t-1) \dots x_f(t-L_2)]^T \quad \dots(\text{数 } 39)$$

[0118]

[Equation 40]

$$x_f(t-1) = [x_{f1}(t-1) x_{f2}(t-1) \dots x_{fn}(t-1)]^T \quad \dots(\text{数 } 40)$$

[0119] here — the output of a xfi:feedforward control system — the controlled variable of a controlled system 1, i.e., the time series signal of an output variable, can carry out a desirable response to the time series signal of desired value r by this. The concrete approach is explained below.

[0120] In a steam-generated plant control system, as explained previously, the demand FMSD of each control input of a steam-generated plant, i.e., a turbine steamy flow rate demand, the water supply flow rate demand FFWD, the fuel-flow demand FFD, the air-flow-rate demand FAD, the spray flow rate demand FSPD, the recycling quantity-of-gas-flow demand FGRD, and the amount demand FGD of emission are called for with the relation shown in several 1. Among these, the demand of each control input determined by the feedforward control system is a part shown in a degree type.

[0121]

[Equation 41]

$$\left. \begin{aligned}
 (F_{MSD})_{FF} &= g_{MSD}(L_D) + h_{MSD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{FWD})_{FF} &= g_{FWD}(L_D) + h_{FWD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{FD})_{FF} &= g_{FD}(L_D) + h_{FD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{AD})_{FF} &= g_{AD}(L_D) + h_{AD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{SPD})_{FF} &= g_{SPD}(L_D) + h_{SPD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{GRD})_{FF} &= g_{GRD}(L_D) + h_{GRD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{GD})_{FF} &= g_{GD}(L_D) + h_{GD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right)
 \end{aligned} \right\} \dots(\text{数} 41)$$

[0122] Time series signal C4 of the output of the feedforward control system of the control system 2 described previously In a steam-generated plant control system, it corresponds to the time series signal of the demand of each control input shown in several 41. Moreover, input variable xd which should be inputted into a controlled system 1 Time series signal C3 It corresponds to the time series signal of each control input which should be inputted into a steam-generated plant. Therefore, in a steam-generated plant control system, Function $g_i(x)$ and $h_i(x)$ will be adjusted to the time series signal of each control input which should be inputted into a steam-generated plant so that the time series signal of the demand of each control input shown in several 41 may be in agreement as much as possible. Thereby, adjustment of the feedforward control system of a steam-generated plant control system is attained.

[0123] Other examples of this invention are shown in drawing 12.

[0124] This example consists of control systems 2 which control a controlled system 1 in harmony with the inverse-system model identification system 5 which identifies the inverse-system model of a controlled system 1, the inverse-system application feedforward control system 6 which calculates the amount of feedforward control using the identified inverse-system model, and the inverse-system application feedforward control system 6.

[0125] Hereafter, other examples of this invention are explained for a steam-generated plant as a controlled system 1. In addition, the outline of a steam-generated plant and a steam-generated plant control system is as the example of drawing 1 having explained.

[0126] The inverse-system model identification system 5 identifies the inverse-system model of a controlled system 1 like the example shown in drawing 11. Moreover, the inverse-system application feedforward control system 6 calculates the amount of feedforward control using the inverse-system model of the controlled system 1 identified with the inverse-system model identification system 5. That is, the amount of feedforward control is calculated so that it may be in agreement with the property of a reference model that the response characteristic when inputting the amount of feedforward control into a controlled system 1 has a desirable response characteristic. For this reason, the time series signal of the output variable of the reference model which is the desirable response to the time series signal of desired value r is searched for like the example of drawing 11, and the time series signal of the input variable which should input into the inverse-system model of the controlled system 1 which identified the time series signal of the output variable of this reference model, and should be inputted into a controlled system 1 is searched for. In addition, the thing same as a reference model as the example shown in drawing 11 is used. It outputs to a control system 2 by making into the amount of feedforward control the time series signal of the input variable which should be inputted into this controlled system 1. In the case of a steam-generated plant, the amount of feedforward control is the demand of each control input corresponding to several 41. A control system 2 incorporates this amount of feedforward control, and calculates the control input of a controlled system 1 combining this and the amount of feedback control calculated by the feedback control system. In the case of a steam-generated plant, a control input is the demand of each control input corresponding to several 1.

[0127] In addition, the stability of a plant control system is considered, and if it becomes beyond a standard value with fluctuation of the controlled variable of a controlled system 1, you may make it a control system 2 calculate the control input of a controlled system 1 combining the amount of feedforward control calculated by the feedforward control system in a control system 2, and the amount of feedback control calculated by the feedback control system. At this time, the amount of feedforward control calculated with the inverse-system application feedforward control system 6 is made into an invalid.

[0128] Although the control parameter of the feedback control system of a control system 2 was adjusted using the order system model of the controlled system 1 identified with the order system-model identification system 3, the control parameter of the feedforward control system of a control system 2 is also doubled, and you may make it adjust the example of this invention shown in drawing 9.

[0129] Although that for which it asked in simulation etc. beforehand was used as a reference model in drawing 10 and drawing 12, it may be made to consider the desired value itself as the output of a reference model. Moreover, it may be made to consider what calculated dead-time delay to desired value as the output of a reference model. Moreover, it may be made to consider what performed 1 pass filtering to desired value 12 as the output of a reference model.

[0130]

[Effect of the Invention] Since according to this invention use the time series signal of the output variable at the time of operation of a controlled system as teacher data for study, the neural network for order system-model identification of a controlled system is made to learn and the control parameter of a control system is adjusted using this order system model while using the time series signal of the input variable at the time of operation of a controlled system as the input data for study, obtaining the step response of a control system can adjust the control parameter of a control system also by the difficult controlled system.

[0131] In addition, since the neural network for order system-model identification can identify the controlled system of a multi-input multi-output system, or an order system model, it can adjust the control parameter of a control system also by the controlled system with the large interference between two or more controlled variables by adjusting the control parameter of a control system using this order system model.

[0132] Furthermore, since a neural network carries out nonlinear conversion of the input, and has the function which outputs that result and this function is used, the neural network for order system-model identification can realize the non-linear regression model of a controlled system, and can adjust the control parameter of a control system also by the controlled system with a nonlinear characteristic.

[0133] Moreover, since the time series signal of the input variable at the time of operation of a controlled system is used as teacher data for study and the neural network for inverse-system model identification of a controlled system is made to learn while using the time series signal of the output variable at the time of operation of a controlled system as the input data for study, the control parameter of a feedforward control system can be adjusted so that a controlled system may carry out a desirable response to desired value using this inverse-system model.

[0134] Moreover, while using the time series signal of the output variable at the time of operation of a controlled system as the input data for study Since the time series signal of the input variable at the time of operation of a controlled system is used as teacher data for study and the neural network for inverse-system model identification of a controlled system is made to learn The feedforward control system to which a controlled system carries out a desirable response to desired value using this inverse-system model can be constituted. Since a controlled system is controlled combining this feedforward control system and the feedback control system of a control system, it is adapted for the property of a controlled system, and the property of a control system can be held good.

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-143108

(43) 公開日 平成5年(1993)6月11日

(51) Int.Cl.⁵

G 0 5 B 13/02
13/04

識別記号

D 9131-3H
9131-3H

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数17(全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平3-304490

(22) 出願日 平成3年(1991)11月20日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 野村 政英

茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 大内 和紀

茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 遠山 栄二

茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株式会社日立製作所大みか工場内

(74) 代理人 弁理士 高田 幸彦

最終頁に続く

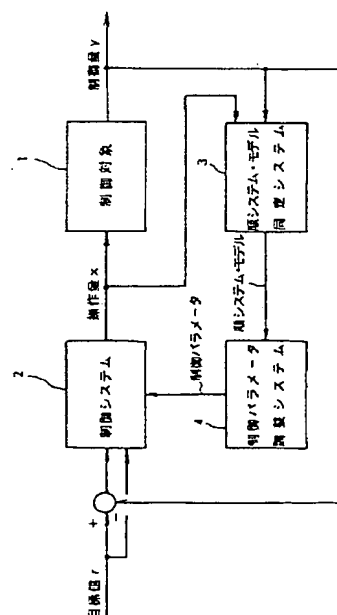
(54) 【発明の名称】 プロセスの適応制御方法

(57) 【要約】

【目的】 制御系のステップ応答を得るのが難しい制御対象でも、制御系の制御パラメータを調整できるプロセス適応制御方法を提供する。

【目的】 制御対象1の順システム・モデルを同定する順システム・モデル同定システム3、同定した順システム・モデルを用いて制御パラメータを調整する制御パラメータ調整システム4、調整した制御パラメータを用いて制御対象1を制御する制御システム2から構成される。順システム・モデル同定システム3は、制御対象1の入出力変数の時系列信号を入力し、制御対象1の出力変数の値を推定する順システム・モデルを制御対象1の運転データを用いてニューラル・ネットワークにより同定する。

図 1



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】制御量を目標値に一致させるように制御対象を制御する方法において、前記制御対象の入出力変数の信号を用いて前記制御対象のモデルをニューラル・ネットワークにより実現し、前記モデルを用いて前記制御対象の特性変化に適応して制御装置の制御パラメータを調整することを特徴とするプロセスの適応制御方法。

【請求項2】請求項1において、前記制御対象の運転データを記録しておき、前記運転データを学習用データとして使用し、これにより前記ニューラル・ネットワークを学習させてモデルを同定するプロセスの適応制御方法。

【請求項3】請求項1において、前記制御対象の時々刻々変化する運転データを学習用データとして使用し、これによりオンライン・リアルタイムで前記ニューラル・ネットワークを学習させてモデルを同定するプロセスの適応制御方法。

【請求項4】請求項1において、前記制御対象の入出力変数の信号として、前記制御対象の負荷レベルを表わす変数の信号を用いるプロセスの適応制御方法。

【請求項5】請求項1において、前記制御対象の入出力変数の信号として、時系列信号を用いるプロセス適応制御方法。

【請求項6】請求項1において、前記ニューラル・ネットワークにより実現したモデルを用いて、制御装置のフィード・バック制御系の制御パラメータを調整するプロセスの適応制御方法。

【請求項7】請求項1において、前記ニューラル・ネットワークにより実現したモデルを用いて、制御装置のフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整するプロセスの適応制御方法。

【請求項8】請求項1において、前記制御対象の入出力変数の信号を入力して前記制御対象の出力変数の推定値を出力する順システム・モデルをニューラル・ネットワークにより実現し、このモデルを用いて、制御装置の制御パラメータを調整するプロセスの適応制御方法。

【請求項9】請求項1において、前記制御対象の出力変数の信号を入力して前記制御対象の入力変数の推定値を出力する逆システム・モデルをニューラル・ネットワークにより実現し、このモデルを用いて、制御装置の制御パラメータを調整するプロセスの適応制御方法。

【請求項10】請求項8において、前記ニューラル・ネットワークにより実現した順システム・モデルを用いて、制御装置のフィード・バック制御系の制御パラメータを調整するプロセスの適応制御方法。

【請求項11】請求項8において、前記ニューラル・ネットワークにより実現した順システム・モデルを用いて、制御装置のフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整するプロセスの適応制御方法。

【請求項12】請求項9において、前記ニューラル・ネ

2

ットワークにより実現した逆システム・モデルを用いて、制御装置のフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整するプロセスの適応制御方法。

【請求項13】制御量を目標値に一致させるように制御対象を制御する方法において、前記制御対象の入出力変数の信号を用いて前記制御対象のモデルをニューラル・ネットワークにより実現し、このモデルを用いて前記制御対象の特性変化に適応して前記制御対象を制御することを特徴とするプロセスの適応制御方法。

10 【請求項14】請求項13において、前記ニューラル・ネットワークにより実現したモデルと制御装置を組合せて前記制御対象を制御するプロセスの適応制御方法。

【請求項15】請求項14において、前記制御対象の出力変数の信号を入力して前記制御対象の入力変数の推定値を出力する逆システム・モデルをニューラル・ネットワークにより実現し、このモデルを用いてフィード・フォワード制御系を構成すると共に、このフィード・フォワード制御系と制御装置を組合せて前記制御対象を制御するプロセスの適応制御方法。

20 【請求項16】請求項15において、逆システム・モデルで実現したフィード・フォワード制御系と制御装置のフィード・バック制御系を組合せて前記制御対象を制御するプロセスの適応制御方法。

【請求項17】請求項15において、逆システム・モデルで実現したフィード・フォワード制御系と制御装置のフィード・バック制御系を組合せて前記制御対象を制御すると共に、制御性能が定められた基準以下になった場合、制御装置のフィード・フォワード制御系とフィード・バック制御系により前記制御対象を制御するプロセスの適応制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、プロセスの適応制御方法に係り、特に、プロセスが多入力多出力系の場合でも、プロセスの特性に適応して、制御系の特性を良好に保持するに好適なプロセスの適応制御方法に関する。

【0002】

40 【従来の技術】制御システムによりプロセスを制御する場合、プロセスの特性に適応して制御システムの制御パラメータを調整する必要がある。その一つの方法として、「ファジィ推論を応用したPIDコントローラ用オートチューニング方式」(計測自動制御学会第13回システム・シンポジウム, '87-11)に記載されている調整方法がある。以下に、この従来の調整方法の概要を説明する。

【0003】図2は、従来の調整方法の構成を示す。

50 【0004】この方法は、目標値をステップ変化させたときの制御量の応答波形から、図3に示すオーバーシュート量E、減衰比D、振動周期比R等の特徴量を抽出し、これらの特徴量に基づいてファジィ推論により制御パラ

3

メータを決定するものである。

【0005】ファジィ推論は、次に示すような定性的表現の調整ルールをファジィ・ルールで表わし、このファジィ・ルールを用いて特徴量からファジィ演算により制御パラメータを決定する。

【0006】「オーバーシュート量Eと減衰比Dが大きいなら、比例ゲインKpと微分時間Tdを小さくする。」

(調整ルールの例)

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術では、制御系のステップ応答からオーバーシュート量E、減衰比D、振動周期比R等の特徴量を抽出し、これらの特徴量に基づいてファジィ推論により制御パラメータを調整するので、制御系のステップ応答を得るのが難しい制御対象の場合は、調整が難しい。

【0008】また、上記従来技術では、制御対象が1入力1出力系の場合を対象にしているの、制御対象が多入力多出力系の場合は、制御系の制御パラメータの調整が難しいという問題があった。特に、複数の制御量間の干渉が大きい制御対象の場合は、より調整が難しくな

【0009】更に、上記従来技術では、制御対象が線形系である場合を対象にしているの、制御対象が非線形系、すなわち非線形特性を持つ系の場合は、制御系の制御パラメータの調整が難しくな

【0010】また、上記従来技術では、フィードバック制御系の制御パラメータを対象にしているの、フィードフォワード制御系の制御パラメータの場合は、調整が難しい。

【0011】本発明の目的は、制御系のステップ応答を得るのが難しい制御対象でも制御系の制御パラメータを調整できるプロセス適応制御方法を提供することにある。

【0012】また、本発明の他の目的は、多入力多出力系の制御対象、特に複数の制御量間の干渉が大きい制御対象でも制御系の制御パラメータを調整できるプロセス適応制御方法を提供することにある。

【0013】更に、本発明の他の目的は、非線形特性を持つ制御対象でも制御系の制御パラメータを調整できるプロセス適応制御方法を提供することにある。

【0014】また、本発明の他の目的は、フィードフォワード制御系の制御パラメータを調整できるプロセス適応制御方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は制御対象の順システム・モデルをニューラル・ネットワークにより同定し、この順システム・モデルを用いて、フィードバック制御系の制御パラメータ、あるいはフィードフォワード制御系の制御パラメータを調整するようにした。

4

【0016】また、制御対象の逆システム・モデルをニューラル・ネットワークにより同定し、この逆システム・モデルを用いて、フィードフォワード制御系の制御パラメータを調整するようにした。

【0017】更に、制御対象の逆システム・モデルをニューラル・ネットワークにより同定し、この逆システム・モデルを用いて、フィード・フォワード制御系を構成し、このフィード・フォワード制御系と制御システムのフィード・バック制御系を組合せて制御対象を制御するようにした。

【0018】

【作用】制御対象の運転時の入力変数の時系列信号を学習用入力データとすると共に、制御対象の運転時の出力変数の時系列信号を学習用教師データとして使用し、制御対象の順システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークを学習させ、この順システム・モデルを用いて制御系の制御パラメータを調整するので、制御系のステップ応答を得るのが難しい制御対象でも制御系の制御パラメータを調整することができる。

【0019】また、順システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークは、多入力多出力系の制御対象でも、順システム・モデルを同定できるので、この順システム・モデルを用いて制御系の制御パラメータを調整することにより複数の制御量間の干渉が大きい制御対象でも制御系の制御パラメータを調整できる。

【0020】更に、ニューラル・ネットワークは、入力を非線形変換して、その結果を出力する機能がある。従って、この機能を利用しているの、順システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークは、制御対象の非線形回帰モデルを実現できる。これにより、非線形特性を持つ制御対象でも制御系の制御パラメータを調整することができる。

【0021】また、制御対象の運転時の出力変数の時系列信号を学習用入力データとすると共に、制御対象の運転時の入力変数の時系列信号を学習用教師データとして使用し、制御対象の逆システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークを学習させるので、この逆システム・モデルを用いて制御対象が目標値に対して望ましい応答をするようにフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整できる。

【0022】また、制御対象の運転時の出力変数の時系列信号を学習用入力データとすると共に、制御対象の運転時の入力変数の時系列信号を学習用教師データとして使用し、制御対象の逆システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークを学習させるので、この逆システム・モデルを用いて制御対象が目標値に対して望ましい応答をするフィードフォワード制御系を構成でき、このフィード・フォワード制御系と制御システムのフィード・バック制御系を組合せて制御対象を制御するので、制御対象の特性に適応して制御系の特性を良好に保持できる。

【0023】

【実施例】本発明の一実施例を図1に示す。

【0024】本実施例は、制御対象1の順システム・モデルを同定する順システム・モデル同定システム3、同定した順システム・モデルを用いて制御パラメータを調整する制御パラメータ調整システム4、調整した制御パラメータを用いて制御対象1を制御する制御システム2から構成される。

【0025】以下、制御対象1として火力プラントを対象に、本発明の一実施例を説明する。

【0026】本発明の実施例の詳細説明に入る前に、火力プラント及び火力プラント制御システムの概要について説明する。図4は、高圧タービン417及び中・低圧タービン418を具備した火力プラントの構成を示したものである。

【0027】中・低圧タービン418からの排気は、復水器420によって冷却され、水に戻される。この水は、給水ポンプ415、火炉水壁410、一次過熱器411、二次過熱器408を順次経て過熱蒸気になり、主蒸気加減弁416を介して高圧タービン417に与えられる。高圧タービン417からの排気は、再び、ボイラ422内の一次再熱器423、二次再熱器409で再熱され、中・低圧タービン418に与えられる。この結果、発電機419が高圧・中・低圧タービン417、418によって回転駆動され、発電が行なわれる。なお、スプレ制御弁413は、スプレ421により一次、二次過熱器411、408間の配管に給水するためのものである。また、ボイラ422への微粉炭の供給は、石炭バンカ404、給炭機駆動モータ405、給炭機406及び石炭ミル407により行なわれる。さらに、押込み通風機401、空気予熱器402、空気ファン403、誘引通風機414及びガス再循環ファン412は、空気の

供給や燃焼ガスの排気、廃熱の再利用のために設けられている。

【0028】火力プラントは、以上説明した構成になっており、中央給電指令所（以下中給と略称する）からの負荷指令 L_c や火力プラントの制御量に基づいて、主蒸気加減弁416、給水ポンプ415、給炭機駆動モータ405、押込通風機401、スプレ制御弁413、ガス再循環ファン412、誘引通風機414などを適当に操作しなければならない。このために、火力プラント制御システムが必要であり、この火力プラント制御システムの構成例を図5に示す。

【0029】火力プラント制御システムは、マスタ・コントローラ100とサブグループ・コントローラ300からなり、火力プラント400を制御する。マスタ・コントローラ100では、中給からの負荷指令 L_c （ $=ELD+AFc$ ）が加算器101により得られ、これを変化率制限器102によって処理することにより、負荷デマンド L_d が求められる。この負荷デマンド L_d と制御量 y のフィード・バック制御器110～116、すなわち、発電機出力MW、主蒸気圧力 P_{vs} 、一次過熱器出口蒸気温度 T_{1ss} 、排ガス O_2 、主蒸気温度 T_{vs} 、再熱蒸気温度 T_{rs} 、火炉ドラフト P_{vr} のフィード・バック制御器110～116からのデマンド修正量 ΔF_{xsb} 、 ΔF_{vrb} 、 ΔF_{1sb} 、 ΔF_{1rb} 、 ΔF_{2sb} 、 ΔF_{2rb} 、 ΔF_{3sb} 、 ΔF_{3rb} に基づき、フィードフォワード制御器付補正回路109、103～108により、タービン蒸気流量デマンド F_{xsb} 、給水流量デマンド F_{vrb} 、燃料流量デマンド F_{rsb} 、空気流量デマンド F_{asb} 、スプレ流量デマンド F_{srb} 、再循環ガス流量デマンド F_{gsb} 、排ガス流量デマンド F_{gob} が決定される。これらの関係を次式に示す。

【0030】

【数1】

$$\left. \begin{aligned}
 F_{MSD} &= g_{MSD}(L_D) + h_{MSD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{MSD} \\
 F_{FWD} &= g_{FWD}(L_D) + h_{FWD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{FWD} \\
 F_{FD} &= g_{FD}(L_D) + h_{FD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{FD} \\
 F_{AD} &= g_{AD}(L_D) + h_{AD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{AD} \\
 F_{SPD} &= g_{SPD}(L_D) + h_{SPD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{SPD} \\
 F_{GRD} &= g_{GRD}(L_D) + h_{GRD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{GRD} \\
 F_{GD} &= g_{GD}(L_D) + h_{GD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) + \Delta F_{GD}
 \end{aligned} \right\}$$

…(数1)

【0031】ここで、 $g_i(\)$: 関数 $h_i(\)$: 関数

また、サブルーブ・コントローラ300は、これらのデマンドに従い、タービン制御器301、給水流量制御器302、燃料流量制御器303、空気流量制御器304、スプレ流量制御器305、再循環ガス流量制御器306、排ガス流量制御器307を介して、火力プラント400の主蒸気加減弁416、給水ポンプ415、給炭機駆動モータ405、押込み通風機401、スプレ制御弁413、ガス再循環ファン412、誘引通風機414を操作する。この結果、火力プラント400の制御量*

$$C = F(Z)$$

【0034】

ここで、 C : 火力プラント1の出力変数 y の現時点 t での値 $y(t)$ の推定値 $\hat{y}(t)$

 Z : 火力プラント1の入出力変数の時系列信号 F : 順システム・モデル関数 (非線形変換関数)

* y 、すなわち、発電機出力MW、主蒸気圧力 P_{vs} 、一次過熱器出力蒸気温度 T_{1ss} 、排ガス O_2 、主蒸気温度 T_{vs} 、再熱蒸気温度 T_{rs} 、火炉ドラフト P_{rv} が望みの目標値になるように制御される。

【0032】順システム・モデル同定システム3は、火力プラント1の入出力変数の時系列信号を入力して、火力プラント1の出力変数の値を推定する順システム・モデルを同定する。この順システム・モデルは、図6及び次式で表わされる。

【0033】

【数2】

…(数2)

火力プラント1の出力変数 y の現時点 t での値 $y(t)$

は、例えば次式で与えられる。

【0035】

【数3】

(6)

特開平5-143108

10

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ y_5(t) \\ y_6(t) \\ y_7(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MW(t) \\ P_{MS}(t) \\ T_{ISH}(t) \\ O_2(t) \\ T_{MS}(t) \\ T_{RH}(t) \\ P_{WW}(t) \end{bmatrix}$$

...(数3)

【0036】

ここで、MW(t) : 現時点tでの発電機出力の値

P_{MS}(t) : 現時点tでの主蒸気圧力の値T_{ISH}(t) : 現時点tでの一次過熱器出口蒸気温度の値O₂(t) : 現時点tでの排ガスO₂濃度の値T_{MS}(t) : 現時点tでの主蒸気温度の値* T_{RH}(t) : 現時点tでの再熱蒸気温度の値20 P_{VR}(t) : 現時点tでの火炉ドラフトの値

また、火力プラント1の入出力変数の時系列信号Zは、例えば次式で与えられる。

【0037】

【数4】

$$Z = \begin{bmatrix} y(t-1) \\ y(t-2) \\ \vdots \\ y(t-L) \\ x(t-1) \\ x(t-2) \\ \vdots \\ x(t-L) \end{bmatrix}$$

*

...(数4)

【0038】

【数5】

(7)

特開平5-143108

12

$$y(t-i) = \begin{bmatrix} y_1(t-i) \\ y_2(t-i) \\ y_3(t-i) \\ y_4(t-i) \\ y_5(t-i) \\ y_6(t-i) \\ y_7(t-i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MW(t-i) \\ P_{MS}(t-i) \\ T_{ISH}(t-i) \\ O_2(t-i) \\ T_{MS}(t-i) \\ T_{RH}(t-i) \\ P_{WW}(t-i) \end{bmatrix}$$

...(数5)

[0039]

[数6]

$$x(t-i) = \begin{bmatrix} x_1(t-i) \\ x_2(t-i) \\ x_3(t-i) \\ x_4(t-i) \\ x_5(t-i) \\ x_6(t-i) \\ x_7(t-i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{MS}(t-i) \\ F_{FW}(t-i) \\ F_F(t-i) \\ F_A(t-i) \\ F_{SP}(t-i) \\ F_{GR}(t-i) \\ F_G(t-i) \end{bmatrix}$$

...(数6)

[0040]

*L : モデルの次数

ここで、 $F_{MS}(t-i)$: 時点 $(t-i)$ での主蒸気流量の値

順システム・モデル関数 $F(Z)$ は、図7に示す多層 (m層) のニューラル・ネットワークにより構築する。

$F_{FW}(t-i)$: 時点 $(t-i)$ での給水流量の値

[0041] このニューラル・ネットワークの構成要素であるユニットの構成を図8に示す。

$F_F(t-i)$: 時点 $(t-i)$ での燃料流量の値

[0042] このユニットの入出力関係は、次式で表わされる。

$F_A(t-i)$: 時点 $(t-i)$ での空気流量の値

[0043]

$F_{SP}(t-i)$: 時点 $(t-i)$ でのスプレイ流量の値

[数7]

$F_{GR}(t-i)$: 時点 $(t-i)$ でのガス再循環流量の値

$F_G(t-i)$: 時点 $(t-i)$ での排ガス流量の値 *

$$v_j(k) = f(u_j(k))$$

...(数7)

[0044]

50 [数8]

$$u_j(k) = \sum_i^{13} w_{ij}(k-1, k) \cdot v_i(k-1) \quad \dots(\text{数8})$$

…(数8)

【0045】

ここで、 $u_j(k)$: 第k層の第jユニットへの
入力の総和

$v_i(k)$: 第k層の第iユニットの出力

$w_{ij}(k-1, k)$: 第(k-1)層の第iユニットから
第k層の第jユニットへの結合の重み係数

f : 各ユニットの入出力関係を与える

関数(入出力関数)

*ニューラル・ネットワークの第一層は、入力層であり、
第一層のユニットの出力は、ニューラル・ネットワーク
への入力信号となる。本発明の実施例では、ニューラル
・ネットワークへの入力信号は、火力プラント1の入出
力変数の時系列信号Zであり、数4からその対応は次式
で表わされる。

【0046】

*10 【数9】

$$\begin{bmatrix} v_1(1) \\ v_2(1) \\ v_3(1) \\ v_4(1) \\ v_5(1) \\ v_6(1) \\ v_7(1) \\ \vdots \\ v_{7L-6}(1) \\ v_{7L-5}(1) \\ v_{7L-4}(1) \\ v_{7L-3}(1) \\ v_{7L-2}(1) \\ v_{7L-1}(1) \\ v_{7L}(1) \\ v_{7L+1}(1) \\ v_{7L+2}(1) \\ v_{7L+3}(1) \\ v_{7L+4}(1) \\ v_{7L+5}(1) \\ v_{7L+6}(1) \\ v_{7L+7}(1) \\ \vdots \\ v_{7L+7L-6}(1) \\ v_{7L+7L-5}(1) \\ v_{7L+7L-4}(1) \\ v_{7L+7L-3}(1) \\ v_{7L+7L-2}(1) \\ v_{7L+7L-1}(1) \\ v_{7L+7L}(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1(t-1) \\ y_2(t-1) \\ y_3(t-1) \\ y_4(t-1) \\ y_5(t-1) \\ y_6(t-1) \\ y_7(t-1) \\ \vdots \\ y_1(t-L) \\ y_2(t-L) \\ y_3(t-L) \\ y_4(t-L) \\ y_5(t-L) \\ y_6(t-L) \\ y_7(t-L) \\ x_1(t-1) \\ x_2(t-1) \\ x_3(t-1) \\ x_4(t-1) \\ x_5(t-1) \\ x_6(t-1) \\ x_7(t-1) \\ \vdots \\ x_1(t-L) \\ x_2(t-L) \\ x_3(t-L) \\ x_4(t-L) \\ x_5(t-L) \\ x_6(t-L) \\ x_7(t-L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MW(t-1) \\ P_{MS}(t-1) \\ T_{ISH}(t-1) \\ O_2(t-1) \\ T_{MS}(t-1) \\ T_{RH}(t-1) \\ P_{WW}(t-1) \\ \vdots \\ MW(t-L) \\ P_{MS}(t-L) \\ T_{ISH}(t-L) \\ O_2(t-L) \\ T_{MS}(t-L) \\ T_{RH}(t-L) \\ P_{WW}(t-L) \\ F_{MS}(t-1) \\ F_{FW}(t-1) \\ F_F(t-1) \\ F_A(t-1) \\ F_{SP}(t-1) \\ F_{GR}(t-1) \\ F_Q(t-1) \\ \vdots \\ F_{MS}(t-L) \\ F_{FW}(t-L) \\ F_F(t-L) \\ F_A(t-L) \\ F_{SP}(t-L) \\ F_{GR}(t-L) \\ F_Q(t-L) \end{bmatrix}$$

…(数9)

【0047】また、ニューラル・ネットワークの最終層
(本発明の実施例では第m層)は、出力層であり、この
層のユニットの出力は、ニューラル・ネットワークの出
力信号となる。本発明の実施例では、ニューラル・ネッ
トワークの出力信号は、火力プラント1の出力変数yの

現時点tでの値 $y(t)$ の推定値 $\hat{y}(t)$ (=C)で
あり、数3からその対応は次式で表わされる。

【0048】

【数10】

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} 15 \\ \left[\begin{array}{c} v_1(m) \\ v_2(m) \\ v_3(m) \\ v_4(m) \\ v_5(m) \\ v_6(m) \\ v_7(m) \end{array} \right] \end{array} & = & \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ y_5(t) \\ y_6(t) \\ y_7(t) \end{array} \right] \end{array} = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} MW(t) \\ P_{MS}(t) \\ T_{ISH}(t) \\ O_2(t) \\ T_{MS}(t) \\ T_{RH}(t) \\ P_{WW}(t) \end{array} \right] \end{array}
 \end{array}$$

【0049】数2に示す非線形変換関数 $F(Z)$ の特性は、数7、数8に示すユニットの入出力関係が変化するとそれに伴って変化する。すなわち、ニューラル・ネットワークの層の個数、各層のユニットの個数、各ユニットの重み係数 $w_{ij}(k-1, k)$ 、各ユニットの入出力関係を与える関数 f が変化すると、非線形変換関数 $F(Z)$ の特性が変化する。従って、層の個数、各層のユニットの個数、各ユニットの重み係数 $w_{ij}(k-1, k)$ 、各ユニットの入出力関係を与える関数 f を調整することにより目的に適合する非線形変換関数 $F(Z)$ を*

$$R = \frac{1}{2} \sum_j \{v_j(m)(w, Z) - C_j\}^2$$

【0053】

ここで、 w : ニューラル・ネットワークの結合の重み係数をすべてまとめたもの
 $v_i(m)(w, Z)$: 入力 Z と重み係数 w から総合的に得られる第 m 層（出力層）の第 j ユニットの出力 ※

$$\Delta w_{ij}(k-1, k) = -\varepsilon \frac{\partial R}{\partial w_{ij}(k-1, k)}$$

【0055】

ここで、 $\Delta w_{ij}(k-1, k)$: 第 $(k-1)$ 層の第 i ユニットから第 k 層の第 j ユニットへの結合の重み係数 $w_{ij}(k-1, k)$ の修正量
 ε : 正の定数 ★

$$\frac{\partial R}{\partial w_{ij}(k-1, k)} = \frac{\partial R}{\partial u_j(k)} \frac{\partial u_j(k)}{\partial w_{ij}(k-1, k)}$$

【0057】数8を数13に代入して整理すると、次式が導かれる。

*構築できる。

【0050】順システム・モデル同定システム3は、制御対象1の順システム・モデルを学習により同定する。次に、この学習のアルゴリズムについて説明する。

【0051】先ず、学習用データとして入出力の組 (Z, C) が与えられたとき、次式に示す誤差の二乗を損失関数 R として定義する。

【0052】

【数11】

…(数10)

…(数11)

※ w の修正量 Δw は、損失関数 R の w についての勾配 (gradient) から求められ、次式で表わされる。

【0054】

【数12】

…(数12)

★数12の右辺の $\partial R / \partial w_{ij}(k-1, k)$ は、次式のよう変形できる。

【0056】

【数13】

…(数13)

【0058】

【数14】

(10)

特開平5-143108

$$\frac{\partial R}{\partial w_{ij}(k-1, k)} = \frac{\partial R}{\partial u_j(k)} v_i(k-1) \quad \dots(\text{数14})$$

【0059】 $k \neq m$ のとき、数14の右辺の $\partial R / \partial u_j(k)$ は、次式により求められる。

$$\frac{\partial R}{\partial u_j(k)} = \sum_i \frac{\partial R}{\partial u_i(k+1)} \frac{\partial u_i(k+1)}{\partial v_j(k)} \frac{\partial v_j(k)}{\partial u_j(k)} \quad \dots(\text{数15})$$

【0061】 数7, 数8を数15に代入して整理すると、次式が得られる。

$$\frac{\partial R}{\partial u_j(k)} = \sum_i \frac{\partial R}{\partial u_i(k+1)} w_{ji}(k, k+1) f_1(u_j(k)) \quad \dots(\text{数16})$$

【0063】 ここで、 f_1 : 各ユニットの入出力関係を与える関数 f の導関数

$\partial R / \partial u_i(k) = d_i(k)$ とおくと、数12, 数16★

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij}(k+1, k) &= -\varepsilon d_j(k) \cdot v_i(k-1) \\ &= -\varepsilon v_i(k-1) \cdot d_j(k) \end{aligned} \quad \dots(\text{数17})$$

【0065】

$$\begin{aligned} d_j(k) &= \left\{ \sum_i d_i(k+1) \cdot w_{ji}(k, k+1) \right\} \cdot f_1(v_j(k)) \\ &= \left\{ \sum_i w_{ji}(k, k+1) \cdot d_i(k+1) \right\} \cdot f_1(u_j(k)) \end{aligned} \quad \dots(\text{数18})$$

【0066】 また、 $k=m$ のとき、 $\partial R / \partial u_i(m)$ は、数11から次式により求められる。

$$\begin{aligned} d_j(m) &= \{v_j(m) - C_j\} \cdot \frac{\partial v_j(m)}{\partial u_j(m)} \\ &= \{v_j(m) - C_j\} \cdot f_1(v_j(m)) \end{aligned} \quad \dots(\text{数19})$$

【0068】 数17, 数18, 数19を用いると、結合の重み係数 $w_{ij}(k-1, k)$ の修正が、 $k=m$ から $k=2$ に向かって、再帰的に計算される。すなわち、出力層での理想出力 C_j と実際の出力 $u_j(m)$ (w, z) との誤差を入力として、出力層から入力層の方向へ、信号の伝播と逆の方向に $w_{ij}(k, k-1)$ で重みをつけた和をと

◆リズムである。

【0069】 各ユニットの入出力関係を与える関数 f がすべてのユニットについて共通で、次式で表わされるものとする。

【0070】

【数20】

$$f(u) = \frac{1}{1 + \exp(-u + \theta)} \quad \dots(\text{数20})$$

【0071】 数20より、次式で得られる。

*【数21】

【0072】

$$f_1(u) = f(u) \{1 - f(u)\} \quad \dots(\text{数21})$$

【0073】 数7, 数21より、次式が導かれる。

【数22】

【0074】

50

(11)

特開平5-143108

19

20

$$f_1(u_j(k)) = v_j(k)\{1 - v_j(k)\}$$

…(数22)

【0075】なお、学習を滑らかに速く収束させるため * 【0076】
に、数17は次式のように修正することができる。 * 【数23】

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij}(k-1, k)(\tau) = & -\varepsilon v_i(k-1)(\tau) \cdot d_j(k)(\tau) \\ & + \alpha \Delta w_{ij}(k-1, k)(\tau-1) \end{aligned}$$

…(数23)

【0077】

ここで、 α ：正の定数 ($\alpha = 1 - \varepsilon$ としてもよい)

τ ：修正の回数

学習用データの入出力の組 (Z , C) において、入力 Z を学習用入力データと呼び、出力 C を学習用教師データと呼ぶ。次に、本発明の実施例において学習用データの獲得方法について説明する。

【0078】学習用データの入出力の組 (Z , C) には、制御対象1の運転データ、すなわち、制御対象1の入出

10 力変数の時系列データを利用する。例えば、サンプリング周期 Δt で収集した現時点 t から M サンプル前までの時系列データ $\{(y(t), x(t)), (y(t-1), x(t-1)), \dots, (y(t-M), x(t-M))\}$ ($M \geq L$) を記憶しておき、このデータを利用する。この時系列データと学習用入出力の組 (Z , C) との対応を次式に示す。

【0079】

【数24】

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{c} 21 \\ Z(t) = \begin{bmatrix} y(t-1) \\ y(t-2) \\ \vdots \\ y(t-L) \\ x(t-1) \\ x(t-2) \\ \vdots \\ x(t-L) \end{bmatrix} \\ C(t) = y(t) \\ \vdots \\ Z(t-1) = \begin{bmatrix} y(t-2) \\ y(t-3) \\ \vdots \\ y(t-L-1) \\ x(t-2) \\ x(t-3) \\ \vdots \\ x(t-L-1) \end{bmatrix} \\ C(t-1) = y(t-1) \\ \vdots \\ Z(t-M+L) = \begin{bmatrix} y(t-M+L-1) \\ y(t-M+L-2) \\ \vdots \\ y(t-M) \\ x(t-M+L-1) \\ x(t-M+L-2) \\ \vdots \\ x(t-M) \end{bmatrix} \\ C(t-M+L) = y(t-M+L) \end{array} \\
 \end{array}
 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z(t) \\ C(t) \\ Z(t-1) \\ C(t-1) \\ Z(t-M+L) \\ C(t-M+L) \end{array}} \right\} \dots(\text{数}24)
 \end{array}$$

【0080】上記の $(M-L+1)$ 個の学習用データに入出力の組 (Z, C) を用いて、先に説明した誤差逆伝播学習アルゴリズムによりニューラル・ネットワークを学習させ、順システム・モデルを同定する。

【0081】なお、学習用データとして、上ではある期間収録しておいた運転データを使用するようにしたが、時々刻々変化する運転データを使用することもできる。40 制御対象の特性変化が速いときは、時々刻々変化する運転データを使用する方がよい。

【0082】制御パラメータ調整システム4は、順システム・モデル同定システム3で同定した制御対象1の順システム・モデルを用いて、制御システム2のフィード・バック制御系の制御パラメータを調整する。すなわち、図9に示すように、制御システム2のモデル42と

同定した制御対象1の順システム・モデル41を組合せ、この組合せた制御系のモデルが良好な制御応答を得るようにフィード・バック制御系の制御パラメータを調整する。

【0083】本発明の実施例では、制御対象1は、火力プラントであり、制御システム2は、火力プラント制御システムである。火力プラント制御システムのフィード・バック制御系の制御パラメータは、図5のフィード・バック制御器110~116の制御パラメータである。フィード・バック制御器110~116は、次式で表わされる。比例・積分器あるいは比例・積分・微分器等により構成される。

【0084】

【数25】

...(数25)

$$G_{c1}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

【0085】

ここで、 $G_{c1}(s)$ ：比例・積分器の伝達関数 K_p ：比例ゲイン T_i ：積分時間* s ：ラプラス演算子

【0086】

【数26】

$$G_{c2}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \dots(\text{数} 26)$$

【0087】

ここで、 $G_{c2}(s)$ ：比例・積分・微分器の伝達関数 T_d ：微分時間

フィード・バック制御器110～116の制御パラメータ、すなわち比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_d は、図9に示す制御系のモデルが良好な制御特性を持つように調整される。例えば、図3に示すように、制御系のモデルのステップ応答が望ましいオーバシュート量、減衰比、立上がり時間を持つように調整される。

【0088】本発明の他の実施例を図10に示す。

【0089】本実施例は、制御対象1の逆システム・モデルを同定する逆システム・モデル同定システム5、同定した逆システム・モデルを用いて制御パラメータを調整する制御パラメータ調整システム4、調整した制御パ

※ラメータを用いて制御対象1を制御する制御システム2から構成される。

10 【0090】以下、制御対象1として火力プラントを対象に、本発明の他の実施例を説明する。なお、火力プラント及び火力プラント制御システムの概要は、図1の実施例で説明した通りである。

【0091】逆システム・モデル同定システム5は、制御対象1の出力変数の時系列信号を入力して、制御対象1の入力変数の時系列信号を推定する逆システム・モデルを同定する。この逆システム・モデルは、図11及び次式で表わされる。

【0092】

【数27】

…(数27)

【0093】

ここで、 C_1 ：制御対象1の入力変数の時系列信号の推定値

 Z_1 ：制御対象1の出力変数の時系列信号 F_1 ：逆システム・モデル関数（非線形変換関数）

★

$$C_1 = [x^*(t) x^*(t-1) \dots x^*(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数} 28)$$

【0095】

ここで、 $x^*(t-1)$ ：(t-1) サンプル時点の制御対象1の操作量の推定値

 L_1 ：次数 T ：転置を表わす記号

☆

$$Z_1 = [y(t) y(t-1) \dots y(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数} 29)$$

【0097】ここで、 $y(t-1)$ ：(t-1) サンプル時点の制御量

逆システム・モデル関数 $F_1(Z_1)$ は、順システム・モデル関数 $F(Z_1)$ と同様に図7に示す多層のニューラル・ネットワーク(m：層)で構成する。また、このニューラル・ネットワークの構成要素であるユニットも、順システム・モデル関数 $F(Z)$ と同様に図8に示す構成のユニットを使用する。

★制御対象1の入力変数の時系列信号の推定値 C_1 は、次式で表わされる。

【0094】

【数28】

☆また、制御対象1の出力変数の時系列信号 Z_1 は、次式で与えられる。

【0096】

【数29】

【0098】先に述べたように、ニューラル・ネットワークの第一層は、入力層であり、第一層のユニットの出力は、ニューラル・ネットワークへの入力信号となる。本発明の実施例では、逆システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークへの入力信号は、制御対象1の出力変数の時系列信号 Z_1 であり、その対応を次式に示す。

【0099】

【数30】

$$\begin{bmatrix} v_1(1) \\ v_2(1) \\ \vdots \\ v_{1L+1}(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(t) \\ y(t-1) \\ \vdots \\ y(t-L_1) \end{bmatrix} \quad \dots(\text{数}30)$$

【0100】また、ニューラル・ネットワークの最終層（本発明の実施例では第 m_1 層）は、出力層であり、この層のユニットの出力は、ニューラル・ネットワークの出力信号となる。本発明の実施例では、ニューラル・ネ

*ットワークの出力信号は、制御対象1の入力変数の時系列信号の推定値 C_1 であり、その対応を次式に示す。

$$\begin{bmatrix} 0101 \\ \text{数}31 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_1(m_1) \\ v_2(m_1) \\ \vdots \\ v_{1L+1}(m_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^{\wedge}(t) \\ x^{\wedge}(t-1) \\ \vdots \\ x^{\wedge}(t-L_1) \end{bmatrix} \quad \dots(\text{数}31)$$

【0102】数27に示す逆システム・モデル関数 $F_1(Z_1)$ は、数7、数8に示すユニットの入出力関係が変化するとそれに伴って変化する。すなわち、ニューラル・ネットワークの層の個数、各層のユニットの個数、各ユニットの重み係数 $w_{ij}(k-1, k)$ 、各ユニットの入出力関数を与える関数 f が変化すると、逆システム・モデル関数 $F_1(Z_1)$ が変化する。したがって、層の個数、各層のユニットの個数、各ユニットの重み係数 $w_{ij}(k-1, k)$ 、各ユニットの入出力関数を与える関数 f を調整することにより目的に適合する逆システム・モデル関数 $F_1(Z_1)$ を構築できる。

【0103】逆システム・モデル同定システム5は、逆システム・モデル関数 $F_1(Z_1)$ を学習により構築し、制御対象1の逆システム・モデルを同定する。すなわち、学習用データとして入出力の組 (Z_1, C_1) が与えられたとき、順システム・モデルの同定と同様に、誤差逆伝播学習アルゴリズムにより各ユニットの重み $w_{ij}(k, k-1)$ を修正し、逆システム・モデル関数 $F_1(Z_1)$ を構築する。

【0104】学習用データの入出力の組 (Z_1, C_1) において、入力 Z_1 を学習用入力データと呼び、出力 C_1 を学習用教師データと呼ぶ。本発明の実施例では、制御対象1の運転データを学習用データとして使用し、逆システム・モデルを同定する。この場合、制御対象1の出

※力変数（制御量）の時系列信号を学習用入力データとして使用し、制御対象1の入力変数（操作量）の時系列信号を学習用教師データとして使用する。これらの学習用データの入出力の組 (Z_1, C_1) は、時々刻々変化する運転データを使用することもできる。また、ある期間収録しておいた運転データを使用することもできる。制御対象の特性変化が速いときは、時々刻々変化する運転データを使用する方がよい。

【0105】制御パラメータ調整システム4は、逆システム・モデル同定システム5で同定した制御対象1の逆システム・モデルを用いて制御システム2のフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整する。すなわち、制御システム2のフィード・フォワード制御系と制御対象1を組合せた制御系の応答特性が望ましい応答特性を持つ規範モデルの特性に一致するようにフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整する。なお、規範モデルとしては、予めシミュレーション等により求めておいたものを利用できる。次に、これについて説明する。

【0106】制御対象1の制御量、すなわち、出力変数の目標値 r の時系列信号 Z_2 は、次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} 0107 \\ \text{数}32 \end{bmatrix}$$

$$Z_2 = [r(t) \ r(t-1) \ \dots \ r(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数}32)$$

【0108】

【数33】

$$r(r-1) = [r_1(t-r) \ r_2(t-1) \ \dots \ r_n(t-1)]^T \quad \dots(\text{数}33)$$

【0109】ここで、 n ：制御量の個数

は、次式で与えられる。

この目標値 r の時系列信号 Z_2 を規範モデルに入力することにより規範モデルの出力変数 y_M の時系列信号 Z_3

【0110】

【数34】

$$Z_3 = [y_M(t) \ y_M(t-1) \ \dots \ y_M(t-L_1)]^T \quad \dots(\text{数}34)$$

【0111】

〔数35〕

$$y_M(t-1)=[y_{M1}(t-1)y_{M2}(t-1)\cdots y_{Mn}(t-1)]^T$$

…〔数35〕

【0112】この規範モデルの出力変数 y_v の時系列信号 Z_2 と同一した制御対象1の逆システム・モデルを用いてフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整する。すなわち、目標値 r の時系列信号 Z_2 に対する望ましい応答である規範モデルの出力変数 y_v の時系列*

*信号 Z_2 を同一した制御対象1の逆システム・モデルに入力すると、制御対象1に入力すべき入力変数 x_d の時系列信号 C_3 が次式により得られる。

【0113】

〔数36〕

$$C_3=F_1(Z_3)$$

…〔数36〕

【0114】

〔数37〕

$$C_3=[x_d(t)x_d(t-1)\cdots x_d(t-L_2)]^T$$

…〔数37〕

【0115】

〔数38〕

$$x_d(t-1)=[x_{d1}(t-1)x_{d2}(t-1)\cdots x_{dn}(t-L_2)]^T$$

…〔数38〕

【0116】 C_3 ：望ましい応答である規範モデルの出力変数 y_v の時系列信号 Z_2 を得るために、制御対象1

※ド制御系の出力の時系列信号 C_4 が一致するように、フィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整する。

この制御対象1に入力すべき入力変数 x_d の時系列信号 C_3 と次式に示す制御システム2のフィード・フォー*

【0117】

〔数39〕

$$C_4=[x_f(t)x_f(t-1)\cdots x_f(t-L_2)]^T$$

…〔数39〕

【0118】

〔数40〕

$$x_f(t-1)=[x_{f1}(t-1)x_{f2}(t-1)\cdots x_{fn}(t-L_2)]^T$$

…〔数40〕

【0119】ここで、 x_{fi} ：フィード・フォワード制御系の出力
これにより、目標値 r の時系列信号に対して制御対象1の制御量、すなわち、出力変数の時系列信号が望ましい応答をするようにできる。具体的方法について、以下に説明する。

【0120】火力プラント制御システムにおいては、先に説明したように、火力プラントの各操作量のデマンド、すなわち、タービン蒸気流量デマンド F_{vsd} 、給水

30 流量デマンド F_{fvd} 、燃料流量デマンド F_{fd} 、空気流量デマンド F_{ad} 、スプレ流量デマンド F_{sfd} 、再循環ガス流量デマンド F_{cld} 、排ガス流量デマンド F_{cd} が数1に示す関係により求められる。このうち、フィード・フォワード制御系により決定される各操作量のデマンドは、次式に示す部分である。

【0121】

〔数41〕

$$\begin{aligned}
 (F_{MSD})_{FF} &= g_{MSD}(L_D) + h_{MSD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{FWD})_{FF} &= g_{FWD}(L_D) + h_{FWD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{FD})_{FF} &= g_{FD}(L_D) + h_{FD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{AD})_{FF} &= g_{AD}(L_D) + h_{AD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{SPD})_{FF} &= g_{SPD}(L_D) + h_{SPD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{GRD})_{FF} &= g_{GRD}(L_D) + h_{GRD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right) \\
 (F_{GD})_{FF} &= g_{GD}(L_D) + h_{GD} \left(\frac{dL_D}{dt} \right)
 \end{aligned}
 \quad \dots(\text{数}41)$$

【0122】先に述べた制御システム2のフィード・フォワード制御系の出力の時系列信号 C_4 は、火力プラント制御システムでは、数41に示す各操作量のデマンドの時系列信号に対応する。また、制御対象1に入力すべき入力変数 x_4 の時系列信号 C_3 は、火力プラントに入力すべき各操作量の時系列信号に対応する。したがって、火力プラント制御システムでは、火力プラントに入力すべき各操作量の時系列信号に、数41に示す各操作量のデマンドの時系列信号ができるだけ一致するように関数 $g_i(x)$ 、 $h_i(x)$ を調整することになる。これにより、火力プラント制御システムのフィード・フォワード

30

定システム5で同定した制御対象1の逆システム・モデルを用いて、フィード・フォワード制御量を求める。すなわち、フィード・フォワード制御量を制御対象1に入力したときの応答特性が望ましい応答特性を持つ規範モデルの特性に一致するようにフィード・フォワード制御量を求める。このため、図11の実施例と同様にして、目標値 r の時系列信号に対する望ましい応答である規範モデルの出力変数の時系列信号を求め、この規範モデルの出力変数の時系列信号を同定した制御対象1の逆システム・モデルに入力して制御対象1に入力すべき入力変数の時系列信号を求める。なお、規範モデルとしては、図11に示す実施例と同様のものを用いる。この制御対象1に入力すべき入力変数の時系列信号をフィード・フォワード制御量として制御システム2に出力する。火力プラントの場合、フィード・フォワード制御量は、数41に対応する各操作量のデマンドである。制御システム2は、このフィード・フォワード制御量を取込み、これとフィード・バック制御系で求めたフィード・バック制御量と組合せて、制御対象1の操作量を求める。火力プラントの場合、操作量は、数1に対応する各操作量のデマンドである。

40

【0123】本発明の他の実施例を図12に示す。

【0124】本実施例は、制御対象1の逆システム・モデルを同定する逆システム・モデル同定システム5、同定した逆システム・モデルを用いてフィード・フォワード制御量を求める逆システム応用フィード・フォワード制御システム6、逆システム応用フィード・フォワード

40

制御システム6と協調して制御対象1を制御する制御システム2から構成される。

【0125】以下、制御対象1として火力プラントを対象に、本発明の他の実施例を説明する。なお、火力プラント及び火力プラント制御システムの概要は、図1の実施例で説明した通りである。

【0126】逆システム・モデル同定システム5は、図11に示す実施例と同様にして、制御対象1の逆システム・モデルを同定する。また、逆システム応用フィード・フォワード制御システム6は、逆システム・モデル同

50

【0127】なお、プラント制御系の安定性を考え、制御対象1の制御量の変動がある規準値以上になると、制御システム2は、制御システム2内のフィード・フォワード制御系で求めたフィード・フォワード制御量とフィード・バック制御系で求めたフィード・バック制御量を組合せて、制御対象1の操作量を求めるようにしてもよい。このとき、逆システム応用フィード・フォワード制

御システム6で求めたフィード・フォワード制御量は無効にされる。

【0128】図9に示す本発明の実施例は、順システム・モデル同定システム3で同定した制御対象1の順システム・モデルを用いて、制御システム2のフィード・バック制御系の制御パラメータを調整するようにしたが、制御システム2のフィード・フォワード制御系の制御パラメータも合わせて調整するようにしてもよい。

【0129】図10、図12では、規範モデルとして、予めシミュレーション等で求めておいたものを利用するようにしたが、目標値そのものを規範モデルの出力とするようにしてもよい。また、目標値に無駄時間遅れの演算を施したものを規範モデルの出力とするようにしてもよい。また、目標値12に一パスフィルタ処理を施したものを規範モデルの出力とするようにしてもよい。

【0130】

【発明の効果】本発明によれば、制御対象の運転時の入力変数の時系列信号を学習用入力データとすると共に、制御対象の運転時の出力変数の時系列信号を学習用教師データとして使用し、制御対象の順システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークを学習させ、この順システム・モデルを用いて制御系の制御パラメータを調整するので、制御系のステップ応答を得るのが難しい制御対象でも制御系の制御パラメータを調整できる。

【0131】なお、順システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークは、多入力多出力系の制御対象でも、順システム・モデルを同定できるので、この順システム・モデルを用いて制御系の制御パラメータを調整することにより複数の制御量間の干渉が大きい制御対象でも制御系の制御パラメータを調整できる。

【0132】更に、ニューラル・ネットワークは、入力を非線形変換して、その結果を出力する機能があり、この機能を利用しているので、順システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークは、制御対象の非線形回帰モデルが実現でき、非線形特性を持つ制御対象でも制御系の制御パラメータを調整できる。

【0133】また、制御対象の運転時の出力変数の時系列信号を学習用入力データとすると共に、制御対象の運転時の入力変数の時系列信号を学習用教師データとして使用し、制御対象の逆システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークを学習させるので、この逆システム・

モデルを用いて制御対象が目標値に対して望ましい応答をするようにフィード・フォワード制御系の制御パラメータを調整できる。

【0134】また、制御対象の運転時の出力変数の時系列信号を学習用入力データとすると共に、制御対象の運転時の入力変数の時系列信号を学習用教師データとして使用し、制御対象の逆システム・モデル同定用ニューラル・ネットワークを学習させるので、この逆システム・モデルを用いて制御対象が目標値に対して望ましい応答をするフィード・フォワード制御系を構成でき、このフィード・フォワード制御系と制御システムのフィード・バック制御系を組合せて制御対象を制御するので、制御対象の特性に適合して制御系の特性を良好に保持できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示すシステムブロック図。

【図2】従来の制御パラメータ調整方法の概要を示すシステムブロック図。

【図3】制御量のステップ応答の特徴量を示す時間応答波形図。

【図4】火力プラントの概要を示すシステム系統図。

【図5】火力プラント制御システムの概要を示すシステムブロック図。

【図6】順システム・モデルの入出力関係を示す説明図。

【図7】ニューラル・ネットワークの構成例を示す説明図。

【図8】ニューラル・ネットワークのユニットの構成を示す説明図。

【図9】本発明の一実施例を説明するためのシステムブロック図。

【図10】本発明の他の実施例を示すシステムブロック図。

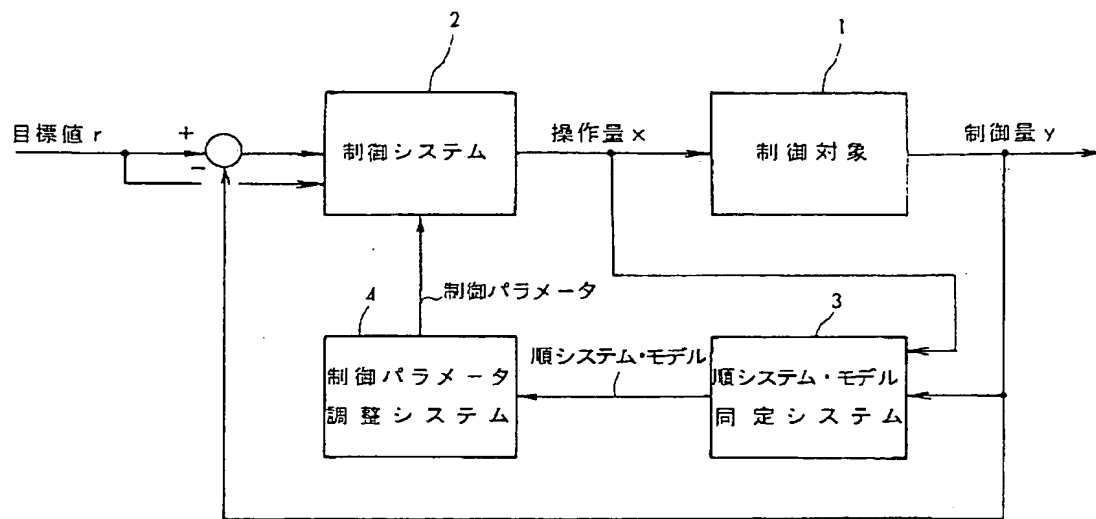
【図11】逆システム・モデルの入出力関係を示す説明図。

【図12】本発明の他の実施例を示すシステムブロック図。

【符号の説明】

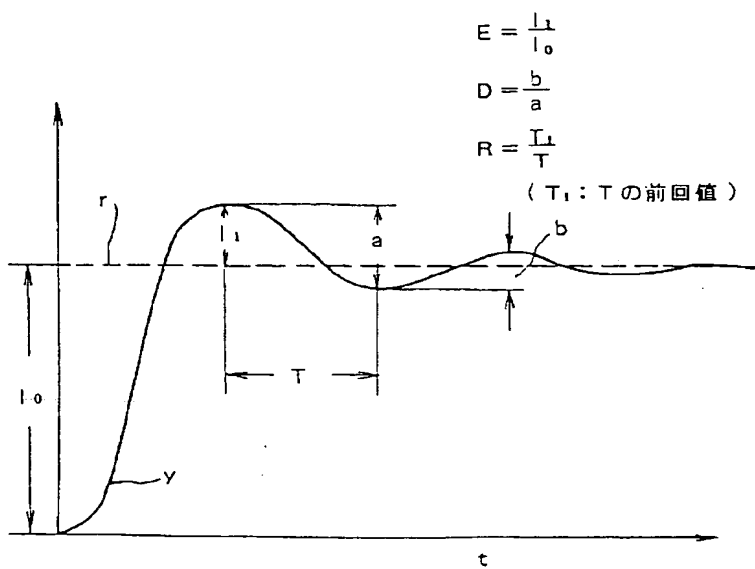
1…制御対象、2…制御システム、3…順システム・モデル同定システム、4…制御パラメータ調整システム。

【図1】

図
一

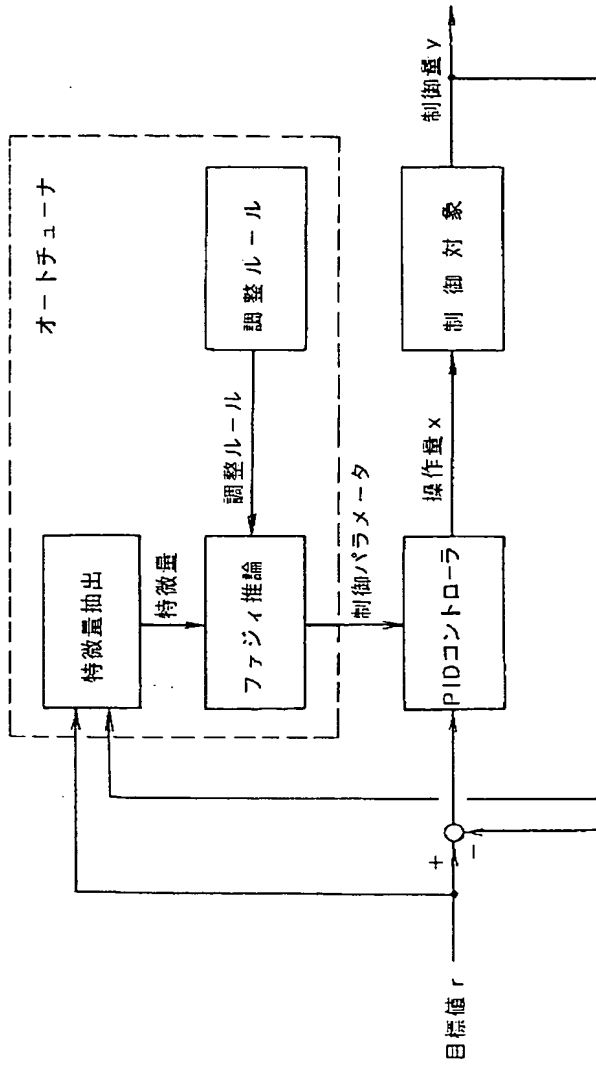
【図3】

図 3



【図2】

図 2



【図7】

図 7

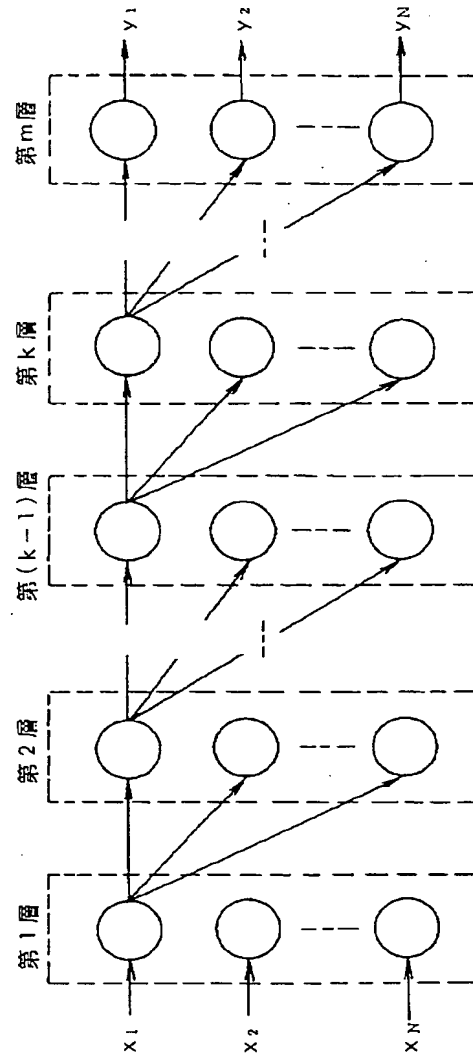


图 4

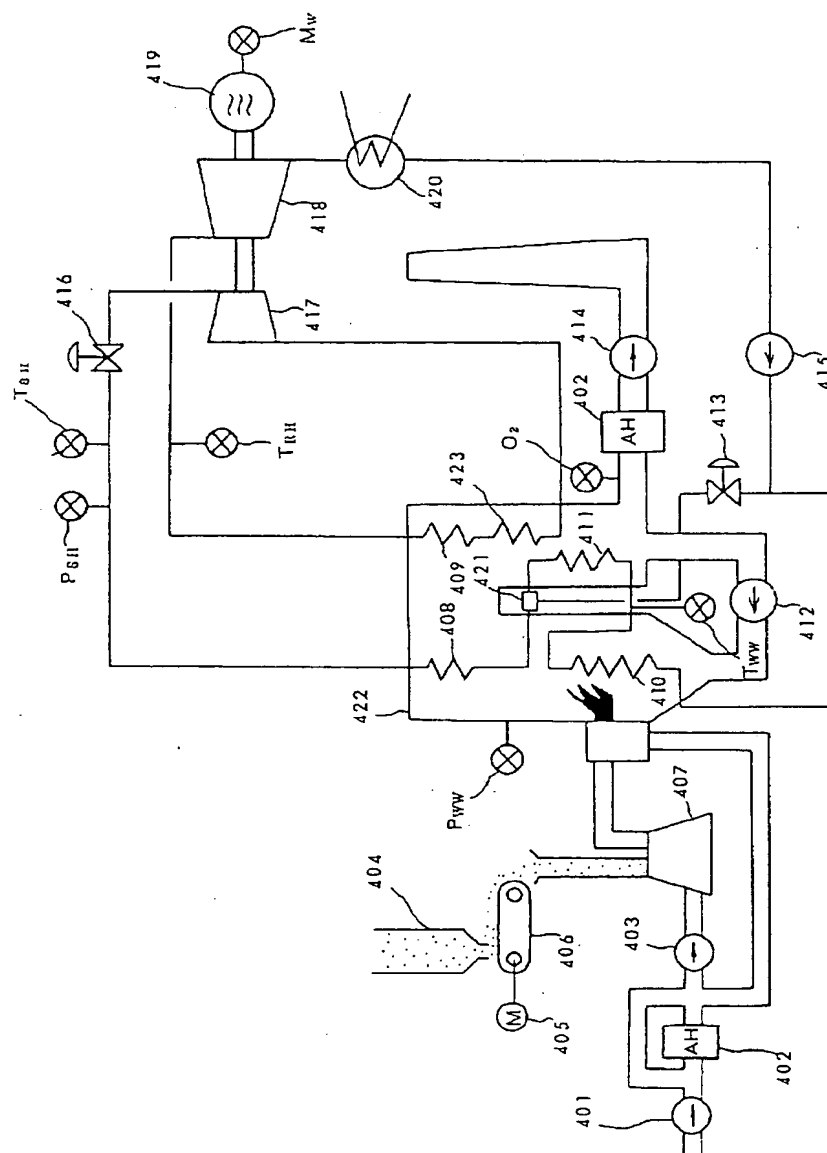
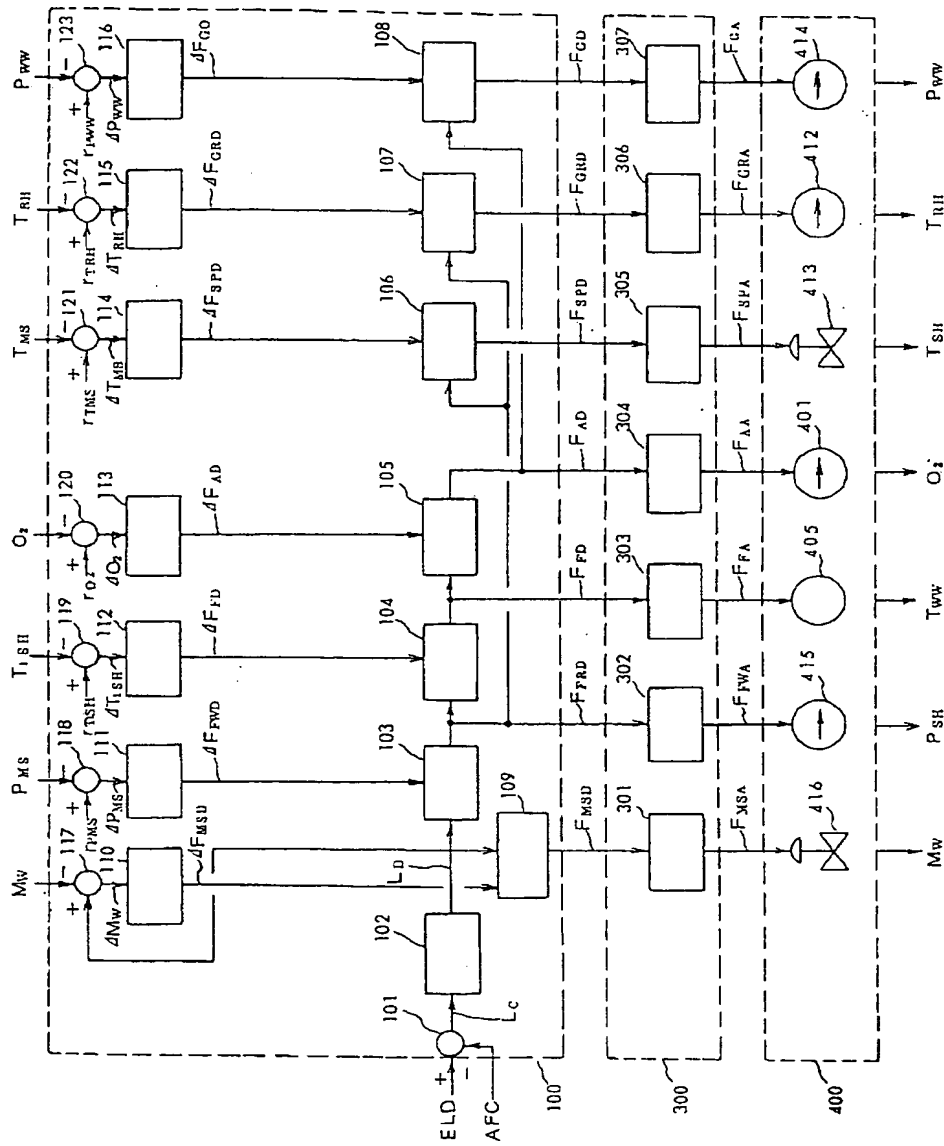
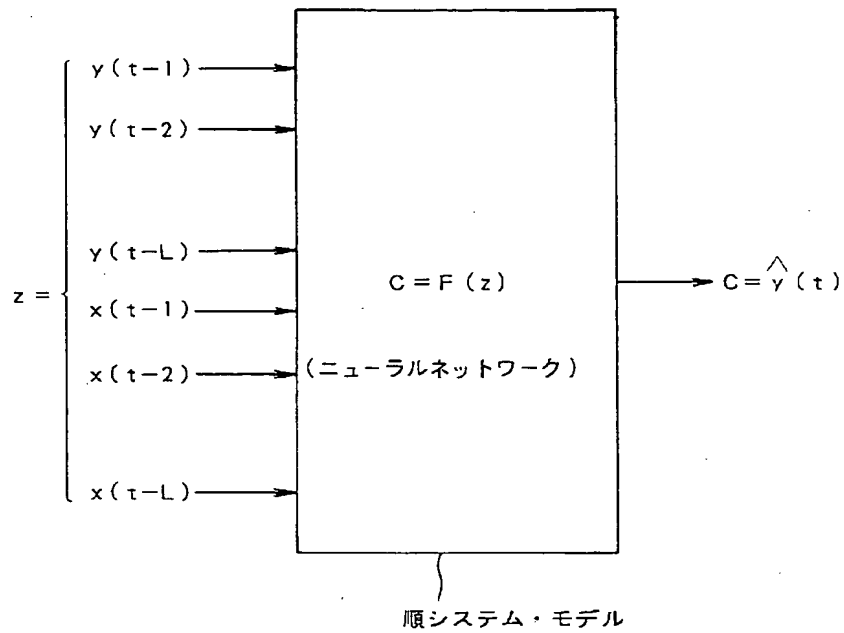


図 5



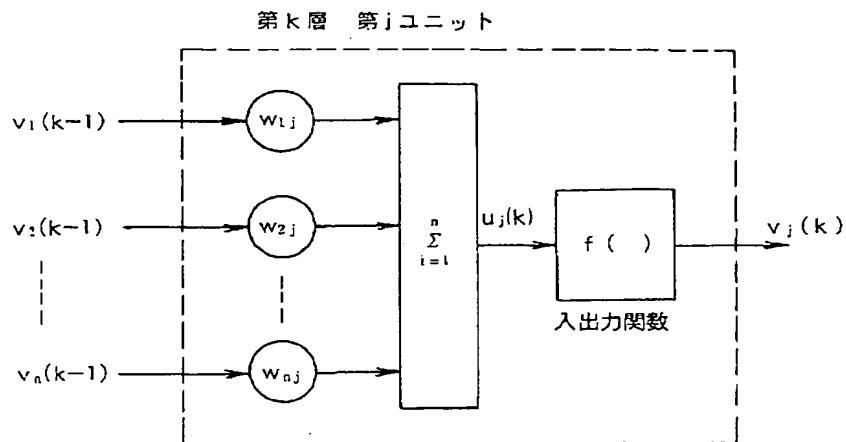
【図6】

図 6

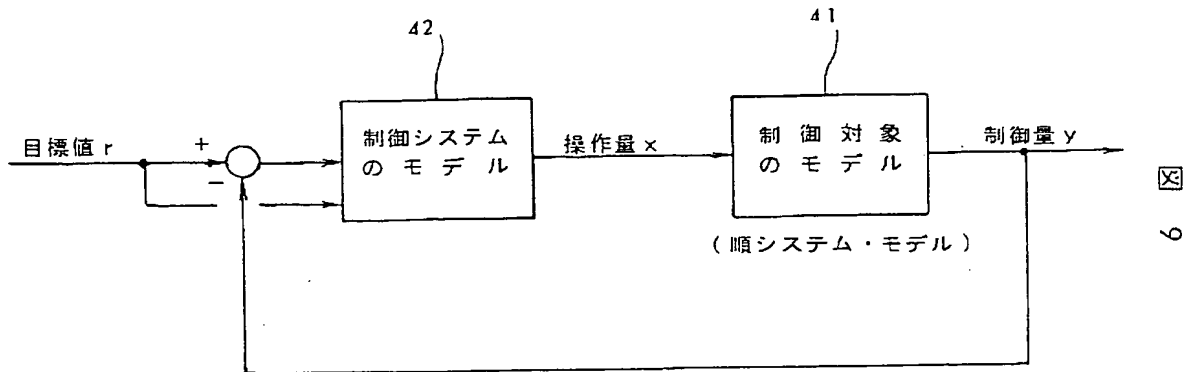


【図8】

図 8

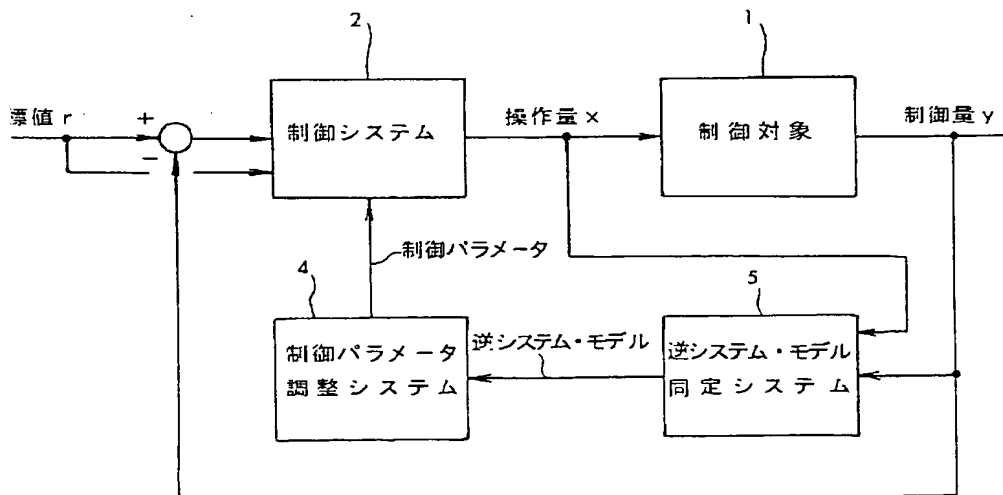


【図9】



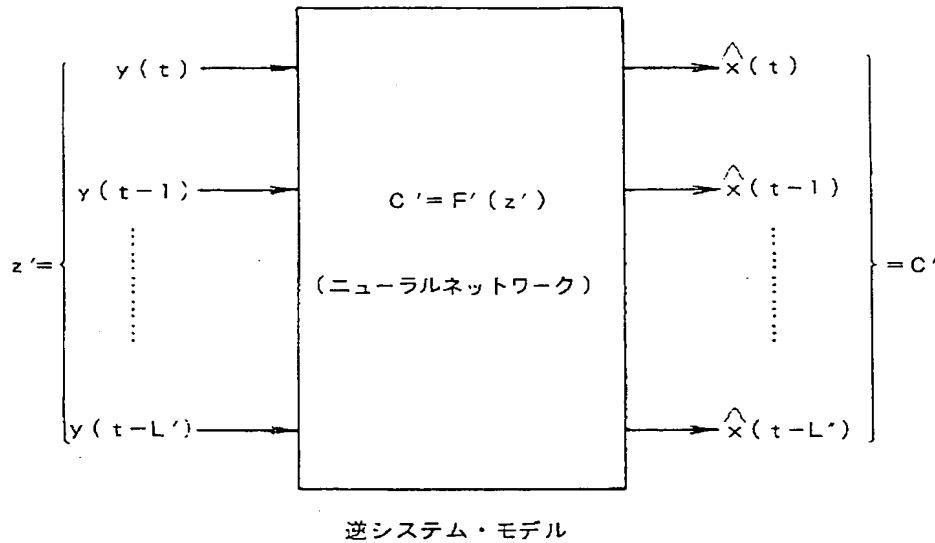
【図10】

図 10

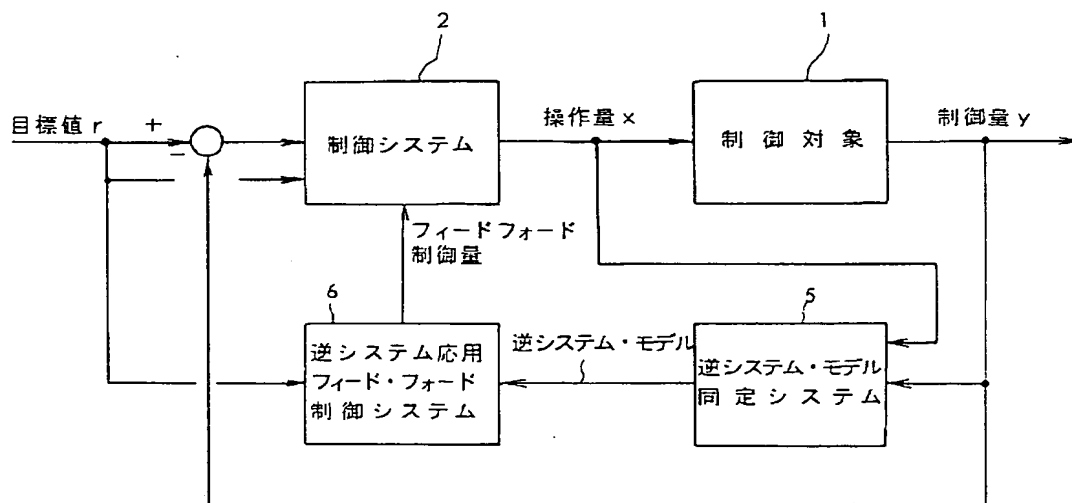


【図11】

図 11



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 木村 亨

茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株
式会社日立製作所大みか工場内